

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.6.639-652>
УДК 633.521: 677.11



Тенденции совершенствования методов и приборов для оценки качества льносырья (обзор)

© 2020. Н. С. Шиманская ✉, И. В. Ущাপовский, С. В. Прокофьев
ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», г. Тверь,
Российская Федерация

В статье представлены результаты анализа методов и приборного оборудования для оценки качества льнотресты и льноволокна. Представлены существующие методы и виды оборудования. Описаны разработанные устройства для определения основных показателей качества льноволокна в Российской Федерации, республиках Беларусь и Украина. Приведены методы, оборудование и современные технологии, применяемые для определения качества льноволокна в Европейских странах, Канаде и США. Отмечена роль современных разработок для повышения эффективности льняного производства. Обозначены перспективные методы и приборы для определения основных показателей качества. Применение метода автоматизированного прогнозирования технологической ценности стеблей льна-долгуна позволяет на основе морфологического и анатомического анализа проводить комплексную оценку их качества. Современные возможности электронной сканирующей микроскопии осуществляют контроль химического состава и структурных элементов стеблей льна на различных этапах роста и развития, а также в период мацерации. Использование инфракрасной спектроскопии обеспечивает высокую точность определения показателей влажности, прочности, содержания волокна и выхода длинного волокна. Однако наряду с высокоточным оборудованием необходимы оборудование и приборы, позволяющие определять основные технологические показатели в полевых условиях с минимальными затратами труда, времени и средств. Исследования в данном направлении ранее проводили во Всероссийском научно-исследовательском институте по переработке лубяных культур и Костромском государственном технологическом университете, но разработки ученых не были проверены в производстве и серийно не выпускались. Быстрые и объективные методы измерения обеспечат получение точных показателей в процессе мацерации и первичной переработке лнотресты, что повысит технологическую ценность и конкурентоспособность льноволокна.

Ключевые слова: технологическая оценка, лнотреста, льноволокно, качество тресты, электронная микроскопия, ИК-спектроскопия, рентгеновская спектромикроскопия, термогравиметрия

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (№ 0477-2019-0005).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Шиманская Н. С., Ущাপовский И. В., Прокофьев С. В. Тенденции совершенствования методов и приборов для оценки качества льносырья (обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2020; 21(6):639-652. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.6.639-652>

Поступила: 10.07.2020 Принята к публикации: 12.11.2020 Опубликовано онлайн: 10.12.2020

Trends in the improvement of methods and equipment for the assessment of flax raw material (review)

© 2020. Natalia S. Shimanskaya ✉, Igor V. Ushapovsky, Sergey V. Prokofiev
Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russian Federation

The article provides the results of the analysis of methods and instrument equipment for the assessment of quality parameters of retted flax straw and flax fiber. The traditional methods and equipment are presented. The devices developed for flax fiber quality testing used in the Russian Federation, the Republic of Belarus and Ukraine are described. Methods, equipment and modern technologies used to determine the quality of flax fiber in European countries, Canada and the United States are provided. The role of modern developments to improve the efficiency of flax production is noted. Promising methods and devices for determining the main quality indicators are identified. The use of the method of automated forecasting of technological value of fiber flax stalks makes it possible to conduct a comprehensive quality assessment based on morphological and anatomical analysis. Modern capabilities of electronic scanning microscopy provide the control of the chemical composition and structural elements of flax stems at various stages of growth and development, as well as during maceration. The use of infrared spectrometry provides high accuracy in determining humidity, strength, fiber content, and long fiber yield. However, along with high-precision equipment, there is the need for equipment and devices that allow determining the main technological indicators in the field with minimal labor, time and money costs. Research in this direction was previously carried out at the All-Russian Scientific Research Institute of Bast Crops Processing and in Kostroma State Technological

University. However, the developments of the scientists were not tested in the production process and were not mass-produced. High speed and objective measurement methods will provide the accurate indicators during the process of maceration and primary processing of retted straw that will increase the technological value and competitiveness of flax fiber.

Keywords: *technological assessment, retted flax straw, flax fiber, quality of retted flax straw, electronic microscopy, IR spectrometry, X-ray spectromicroscopy, thermogravimetry*

Acknowledgement: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Research Center for Bast Fiber Crops (theme No.0477-2019-0005).

The author thanks the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

Conflict of interest: the authors stated that there was no conflict of interest.

For citation: Shimanskaya N. S., Uschapovsky I. V., Prokofiev S. V. Trends in the improvement of methods and equipment for the assessment of flax raw material (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2020;21(6): 639-652. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.6.639-652>

Received: 10.07.2020

Accepted for publication: 12.11.2020

Published online: 10.12.2020

Развитие льняного производства было и остается приоритетным для агропромышленного комплекса России, так как оно объединяет аграрную и промышленную часть производства и переработки. Несмотря на то, что сфера потребления льняной целлюлозы постоянно расширяется и потребность льноволокна по прогнозам на 2020 год составляет 351 тыс. тонн, льнокомплекс страны находится в кризисном состоянии¹ [1, 2]. Как показывает исторический анализ отрасли льноводства, проведенный рядом исследователей, получение высококачественного льносырья всегда было достаточно сложной задачей [3]. Особенность льнопроизводства в том, что выращивание и производство тресты находится в сильной зависимости от метеорологических условий [4, 5, 6, 7].

В настоящее время количество факторов, влияющих на получение льнопродукции, многократно возросло, и в таких условиях номер тресты с одного поля может варьировать от 2 до 6 сортономеров. Неоднородность сырья и вариабельность основных параметров качества существенно снижают технологическую ценность льнопродукции² [8]. Несоблюдение технологических операций, несовершенство техники и оборудования первичной обработки приводят к тому, что только одна треть получаемого льноволокна пригодна для выработки текстильных изделий [4, 9]. Важно обеспечить не только необходимые объемы льнопродукции, но и получать продукцию, соответствующую требованиям государственных стандартов. В Российской Федерации разработаны государственные стандарты на тресту льняную

и лен трепаный в соответствии с требованиями текстильной промышленности. Стандартизация льносырья основана на прогнозе качества тресты и длинного волокна по основным параметрам и присвоении ему соответствующего номера. Установлено, что на номер волокна существенное влияние оказывают показатели горстевой длины (от 44 до 53 %), группы цвета (от 3 до 23 %), прочности и гибкости волокна (от 10 до 30 %). Как отмечает ряд исследователей³, доля влияния показателей горстевой длины и группы цвета на номер волокна в применяемом стандарте преувеличена, в то время как доля влияния разрывной нагрузки в производственных условиях выше указанных.

Анализ существующих методов и приборов для оценки качества льнотресты и льноволокна выявил ряд проблем, которые отражаются на качестве проведения анализов и точности полученных результатов. Более того, при определении основных показателей используют органолептическую оценку, которая обуславливает субъективность полученных результатов. Только объективная оценка качества льноволокна обеспечивает рациональное использование и увеличивает его ценность для текстильной промышленности. Именно поэтому вопросы совершенствования методов и приборов для оценки качества льнотресты и льноволокна не теряют своей актуальности.

Цель обзора – провести анализ методов и оборудования для оценки качества льносырья и рассмотреть новейшие тенденции их совершенствования.

¹Льноперерабатывающий комплекс Российской Федерации. ФГБУ «Агентство «Лен». 2020. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.nsss-russia.ru/wp-content/uploads/2020/01/ФГБУ-Агентство-Лен.pdf> (дата обращения: 16.02.2020).

²Румянцева И. А. Оценка качества стланцевой льняной тресты в полевых условиях. Тезисы научно-практической конференции. Вологда: ОАО «Центральный научно-исследовательский институт комплексной автоматизации легкой промышленности», 2008. С. 188-189.

³Карпунин Б. Ф., Гулов В. А., Карацеева Ю. Т. Технологии производства льняного волокна для климатических условий Российской Федерации. Методические рекомендации для сельскохозяйственных консультантов. М.: ФГБНУ «Росинформатех», 2017. 124 с.

Материал и методы. Материалами для аналитического обзора послужили опубликованные научные статьи отечественных и зарубежных авторов в области льноводства, льноперерабатывающей и текстильной промышленности, государственные стандарты Российской Федерации, патенты на изобретения и методические издания.

Поиск материалов был проведен по базам данных e-Library и CyberLeninka, на сайтах журналов «Московский экономический журнал», «АгроЭкоИнфо», «Технология текстильной промышленности», осуществлен поиск патентов на изобретения в базах Panteon и Роспатент. Для изучения принят материал, изданный в период 2010-2020 гг., а ранние публикации изучали только при отсутствии материала по интересующему аспекту исследуемой темы.

Основная часть. В настоящее время оценку качества льнотресты и льноволокна проводят в соответствии с требованиями, указанными в ГОСТ 24383-89 «Треста льняная»⁴, ГОСТ 10330-76 «Лен трепаный»⁵, ГОСТ Р 53143-2008 «Треста льняная»⁶ и ГОСТ Р 53484-2009 «Лен трепаный»⁷.

Согласно ГОСТ 24383-89 свойства льнотресты определяют по показателям влажности, отделяемости, горстевой длины, засоренности, выходу волокна и группе цвета. В соответствии со стандартами определение влажности проводят с помощью влагомеров ВЛК-1, ВЛР-1; сушильных устройств УС-4, ВСЛК-1; сушильного шкафа СШ-1 и СФОА. Отделяемость льнотресты определяют на приборе ООВ, но данный метод очень трудоёмок,

требует предварительной подготовки проб. Группу цвета волокна определяют путём сравнения изучаемых образцов со стандартными или с помощью компаратора цвета типа КЦ. Измерение прочности льнотресты проводят по методике, представленной в ГОСТ 2975-73 «Треста льняная. Технические условия»⁸. Для определения разрывной нагрузки применяют лабораторную мялку ЛМ-3, динамометр ДКВ-60 или разрывную машину РМП-1. Для определения выхода длинного волокна используют станки СМТ-200 М и лабораторные весы.

В ГОСТах Р 53484-2009 и Р 53143-2008 представлены стандартные методы и оборудование, дополненные новыми разработками для оценки качества льнотресты и волокна. Основой для создания стандартов послужили разработки сотрудников ВНИИЛК⁹ (ФГБНУ ФНЦ ЛК) и Костромского ГТУ (ФГБОУ ВО Костромской государственной университет). На основании исследований предложено оборудование для определения вылежки льна (ОВЛ), группы цвета (ПГЦ), мяльно-трепальный станок СМТ-500 и анализатор качества волокна АКВ^{10, 11, 12} [10].

Прибор ОВЛ состоит из светофильтров и фотодиода с диапазоном измерений в ультрафиолетовой области спектра, что позволяет определять цвет стеблей и соответственно «отделяемость стланцевого волокна». Преимуществом этого прибора является возможность измерения отделяемости льнотресты в полевых условиях. Прибор ПГЦ для определения группы цвета включает ЭВМ, сканер и специальное программное обеспечение.

⁴ГОСТ 24383-89. Треста льняная. Технические условия. Введ. 01.01.91. М., 1991. 12 с.

⁵ГОСТ 10330-76 Лен трепаный. Технические условия. Введ. 01.07.1977. М., 1977. 12 с.

⁶ГОСТ Р 53143-2008 Треста льняная. Требования при заготовках. Введ. 01.01.2010. М.: Стандартинформ, 2009. 10 с.

⁷ГОСТ Р 53484-2009 Лен трепаный. Технические условия. Введ. 01.01.2011. М.: Стандартинформ, 2011. 16 с.

⁸ГОСТ 2975-73 Треста льняная. Технические условия. Введ. 01.01.1973. М., 1973. 18 с.

⁹Пашин Е. Л., Виноградова А. Е., Ломагин В. Н. Устройство для определения отделяемости волокна в стланцевой тресте: пат. 2324921 Рос. Федерация. № 2006138757/28; заявл. 02.11.2006; опубл. 20.05.08, Бюл. № 14. 5 с. Режим доступа: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&m=3738&DocNumber=2324921&TypeFile=html

¹⁰Пашин Е. Л. Новое лабораторное оборудование для контроля свойств льна. Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. научн.-практ. конф. Минск: РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2011. Вып. 2. С. 117-118.

¹¹Пашина Л. В., Пашин Е. Л., Татаринцев С. В. Совершенствование метода определения выхода длинного волокна для задач квалиметрии и стандартизации льняной тресты. Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности: мат-лы докладов Междунар. научн.-техн. конф., 26-27 ноября 2014 г. УО «ВГТУ». Витебск, 2014. С. 455-456. Режим доступа: <http://rep.vstu.by/handle/123456789/5924>

¹²Пашин Е. Л., Соболева Е. В., Куликов А. В. Совершенствование системы квалиметрии и метрологии при стандартизации льна. Тезисы научно-практической конференции. Вологда: ОАО «Центральный научно-исследовательский институт комплексной автоматизации легкой промышленности», 2008. С. 190-191.

Суть метода заключается в подготовке пробы анализируемого образца к анализу и получении цифрового изображения с последующей оценкой параметров цвета¹³. Заслуживает внимания и прибор для комплексной оценки льноволокна – анализатор качества волокна АКВ. Волокно, полученное в мяльно-трепальном станке, помещают в анализатор, где и происходит анализ волокна с последующим определением номера тресты¹⁴. Прибор АКВ рекомендуют использовать для проведения оценки льнотресты в полевых и лабораторных условиях. Преимуществом является мобильность оборудования. Несмотря на вышечисленные преимущества, оборудование не проверено в производстве и серийно не выпускалось.

Разработкой приборов для морфологической и технологической оценки стеблей льна и в целом лубоволокнистого сырья занимаются сотрудники опытной станции лубяных культур Института Северо-Востока Национальной академии аграрных наук Украины. Ими созданы макеты более совершенных приборов для определения диаметра стеблей льна и определения линейной плотности волокна. Оптико-механический прибор для определения диаметра стеблей состоит из измерительного узла, лазерного диода и шкалы¹⁵. Преимущество прибора заключается в простоте, скорости, точности определений из-за отсутствия деформации стеблей. Основой определения линейной плотности волокна является зави-

симость между степенью расщепленности волокон в пробе и временем прохождения через нее порций воздуха заданного объема и давления. Достоинствами являются высокая производительность и точность.

Рассматривая опыт зарубежных стран, следует отметить, что чаще всего для определения технологических показателей льноволокна используют общее оборудование, применяемое в текстильной промышленности. Это разрывной автомат для пряжи и нитей – STATIMAT ME^{16, 17} (Германия), машины Instron¹⁸, MTC Synergie RT100, стелометр (ISO 3060¹⁹) и т. д. [7, 11]. Автомат STATIMAT ME производится фирмой Textechno, используется для определения прочности, удлинения и коэффициента вариации разрывной нагрузки. Машины Instron Model 4500 оснащены высокоточной и высокопроизводительной измерительной системой, что позволяет с помощью программного обеспечения Merlin IX (Instron Corp.) автоматически записывать и обрабатывать результаты испытаний на компьютере. В США, Австралии, Франции тонины волокна определяют эталонным методом или методом воздушного потока (ISO 2370²⁰), цвет волокна с помощью спектрофотометра Minolta и системы CIELab²¹ (ISO 11664²²). Цветовое пространство CIELab описывает математически в трех измерениях: уровень яркости (L^*); оттенок цвета – зелено-красный (a^*) и сине-желтый (b^*) [11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19].

¹³Булатов В. В., Орлов А. В., Пашин Е. Л. Способ определения группы цвета льняного волокна: пат. 2691768 Рос. Федерация. № 2017142465; заявл. 05.12.2017; опубл. 18.06.2019, Бюл. № 17. 7 с. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39288444>

¹⁴Румянцева И. А. Оценка качества стланцевой льняной тресты в полевых условиях. Тезисы научно-практической конференции. Вологда: ОАО «Центральный научно-исследовательский институт комплексной автоматизации легкой промышленности», 2008. С. 188-189.

¹⁵Головий А. В., Жуплатова Л. М., Мохер Ю. В. Новые приборы для определения качества льна-долгунца. Инновационные разработки для производства льна: мат-лы Междунар. научн.-практ. конф. ФГНУ ВНИИМЛ. Тверь, 2015. С. 283-287. Режим доступа: <https://fncl.ru/upload/medialibrary/178/1785d49eb3c2ecb73f9a687976c7ff1c.pdf>

¹⁶Разрывной автомат для пряжи и нитей STATIMAT ME+. [Электронный ресурс].

Режим доступа: <https://www.textechno.com/product/statimat-me/?lang=ru> (дата обращения: 16.08.2020).

¹⁷Automatic Tensile Tester for Yarns STATIMAT ME+. [Электронный ресурс].

Available at: <https://www.textechno.com/product/statimat-me> (accessed: 16.08.2020).

¹⁸Henriksson G., Akin D. E., Hanlin R. T., Rodriguez C., Archibald D. D., Rigsby L. L., Eriksson K. L. Identification and retting efficiencies of fungi isolated from dew-retted flax in the United States and Europe. American Society for Microbiology. 1997; (63(10)):3950-3956. DOI: <https://doi.org/10.1128/aem.63.10.3950-3956.1997>

¹⁹Stelometer Волокно Комплект Тестер прочности [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://russian.alibaba.com/product-detail/stelometer-fiber-bundle-strength-tester-yg011-60856543216.html> (дата обращения: 18.08.2020).

²⁰ISO 2370:1980 Textiles – Determination of fineness of flax fibres – Permeametric methods.

Available at: <https://www.iso.org/ru/standard/7209.html> (accessed: 18.08.2020).

²¹Эбхей Ш. CIELab – измерение цвета на различных материалах. 2014.

Available at: https://www.publish.ru/articles/200403_4050359 (accessed: 18.08.2020).

²²ISO 11664-1:2007. Colorimetry – Part 1: CIE standard colorimetric observers.

Available at: <https://www.iso.org/standard/52495.html> (accessed: 21.02.2020).

Несмотря на то, что имеется достаточно широкий спектр методов и приборов для определения показателей качества волокна, в отдельных странах его оценку проводят на основе органолептического тестирования. В большинстве случаев это связано с отсутствием объективных стандартов и методов для быстрой и недорогой оценки. В настоящее время вопрос необходимости разработки новых способов оценки льняного волокна все чаще поднимается в различных странах [7, 15, 19]. Количество работ отечественных и зарубежных авторов по изучению новых способов и оборудования с применением современных технологий постоянно увеличивается. В связи с этим, в отдельную группу можно выделить все разработки, основанные на применении современных электронных и цифровых технологий. Среди них MS-70 фирмы AND²³ – электронный анализатор влажности, который с помощью 20 автоматических программ измерения определяет влажность сырья с погрешностью до 0,001 %. Принцип работы прибора заключается в анализе влаги, испаряющейся при нагревании исследуемого образца²⁴. Учеными ФГБНУ ФНЦ ЛК разработано устройство для измерения влажности ИВЛТ²⁵ и влагомер ВСЛК-1 М²⁶. Индикатор ИВТЛ обеспечивает оценку влажности льнотресты в рулоне без предварительного отбора проб. Модернизированный термогравиметрический влагомер

ВСЛК-1 М применяют для определения влажности сырья после сушки.

В научной литературе представлено большое количество работ, посвященных применению ИК-Фурье спектроскопии в технологической оценке качества льнотресты и льноволокна [7, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30]. Зарубежные учёные на основе спектроскопических методов проводят оценку степени мацерации, определяют содержание волокна и разрывную нагрузку. С помощью инфракрасного Фурье-спектрометра NEXUS™ E.S.P.²⁷ проведена оценка химического состава волокон после мацерации и оценка чистоты льноволокна²⁸ [27]. Спектрометрические методы широко применяют и отечественные учёные, на основе исследований установлена эффективность лабораторного спектрофотометра СФ-256 БИК²⁹ при определении химического состава льняной тресты и оценке показателей влажности, отделяемости³⁰ льнотресты и прочности волокна^{31, 32, 33} [28, 31]. Методика проведения измерений указанных показателей имеет свои особенности. В частности, установление влажности тресты основано на определении гидроксильных групп и молекул воды; степень готовности тресты – на изменении процентного содержания флавонолов [24]; прочность волокна – на измерении процентного содержания лигнина и пектиновых веществ [28].

²³AND MS-70 – Анализаторы влажности. ООО "Мир весов" [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mirvesov.ru/analizatory-vlazhnosti/731.htm> (дата обращения: 21.02.2020).

²⁴Анализатор влажности AND MS-70 (влагомер). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.дешевыевесы.pdf/vesy/analizatory-vlazhnosti/analizator-vlazhnosti-and-ms-70.html> (дата обращения: 15.09.2020).

²⁵Конохов В. Ю., Ростовцев Р. А., Уткин А. А. Устройство для измерения влажности тресты льна в рулонах: пат. 189236 Рос. Федерация. № 2019105173; заявл. 25.02.2019; опубл. 16.05.2019, Бюл. № 14. 7 с. Режим доступа: https://yandex.ru/patents/doc/RU189236U1_20190516 (дата обращения: 14.08.2020).

²⁶Романов В.А. Модернизированный влагомер льносырья. Техника и оборудование для села. 2011;(12)20-21. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17240476>

²⁷NEXUS™ E.S.P. Thermo Nicolet Nexus 470 FT-IR ESP espectralómetro año 2000. Available at: https://www.ebay.com/itm/Thermo-Nicolet-Nexus-470-FT-IR-ESP-Spectrometer-Year-2000-/333258738105?_ul=CL (accessed: 7.03.2020).

²⁸Титок В. В., Леонтьев В. Н., Юренкова С. И., Лугин В. Г., Хотылёва Л. В. Новые подходы в определении качества льноволокна. Химия и технология органических веществ: труды БГТУ. Сер. 4. Минск, 2006. Вып. 14. С. 127-130. Режим доступа: <https://elib.belstu.by/handle/123456789/30854>

²⁹Спектрофотометры СФ-256 БИК. ОАО «ЛОКО» [Электронный ресурс].

Режим доступа: <https://all-pribors.ru/opisanie/21558-01-sf-256bik-17801> (дата обращения: 21.02.2020).

³⁰Ефремов А. С., Каткова А. А., Дроздов В. Г. Способ измерения отделяемости льняной тресты: пат. 2464547. Рос. Федерация. № 2011116807/28; заявл. 27.04.2011; опубл. 20.10.2012, Бюл. № 29. 6 с.

Режим доступа: https://rusneb.ru/catalog/000224_000128_0002464547_20121020_C1_RU

³¹Ефремов А. С., Дроздов В. Г., Мозохин А. Е. Способ измерения прочности льняной тресты: пат. 2525598. Рос. Федерация. № 2012154931/28; заявл. 18.12.2012; опубл. 20.07.2014, Бюл. № 20. 6 с.

Режим доступа: https://rusneb.ru/catalog/000224_000128_0002525598_20140820_C1_RU

³²Дроздов В. Г., Мозохин А. Е. Технологический контроль прочности льнотресты методом ближней инфракрасной спектроскопии. Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: мат-лы Междунар. научн.- практ. конф. Кострома, 2011. С. 71-75.

³³Мочалов Л. В., Дроздов В. Г. Применение неразрушающего контроля для оценки технологических свойств льняного сырья. Актуальные проблемы науки и технологий текстильной и легкой промышленности: сб. тр. Междунар. научн.- техн. конф. Кострома, 2016. С. 145-147.

Преимуществом данного оборудования является точность и экономичность, прибор отечественного производства и его стоимость ниже зарубежных аналогов. Немаловажно, что применение инфракрасной спектроскопии не ограничивается указанными параметрами, и на основе данного метода возможно определение содержания волокна³⁴ и выхода длинного волокна [19, 20, 22].

Помимо высокой точности, преимуществом данного оборудования является надёжность, простота подготовки проб и сокращение временных затрат на проведение исследований³⁵, применение его позволяет провести оценку структурной организации волокон и его свойств методом неразрушающего контроля. Особенно важно, что оборудование для инфракрасной спектроскопии можно применять для непрерывного контроля параметров льнотресты в потоке при первичной переработке на льнозаводах³⁶, однако его внедрения в производство не происходит ввиду существенных финансовых затрат.

Многочисленные научные публикации посвящены не только применению технологий инфракрасной спектроскопии в оценке качества льнотресты и льноволокна, но и широкому использованию сканирующей электронной микроскопии и термогравиметрии³⁷ [14, 26, 29,

30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39]. Для проведения электронной микроскопии применяют сканирующие электронные микроскопы типа Jeol JSM 6460LV³⁸, JEOL 840A³⁹ (JEOL Ltd, Токио, Япония) и JSM-5610 LV⁴⁰ с системой химического анализа EDX JED-2201 JEOL⁴¹. Данный метод дает возможность оценить морфологические особенности микрофибрилл льноволокна и структурных компонентов клетки⁴². Термогравиметрический анализ волокна, для проведения которого применяют аппараты Mettler Toledo TGA/DSC 1⁴³, TA-4000⁴⁴ (модуль ТГ-50), Setaram TM 92, позволяет определять основные полимерные компоненты стебля льна: лигнин, целлюлозу, гемицеллюлозу, пектиновые вещества [18, 33, 38, 39]. Преимущества указанных методов заключаются в возможности определения особенностей структурной организации лубяных пучков, связанных с показателями качества и содержанием различных химических элементов [33].

Применение льняного волокна в производстве биокмполитов способствовало более глубокому изучению структуры лубяных пучков и элементарных волокон на основе методов автономного лазерного сканирования, рентгеновской спектромикроскопии, рентгеновской микротомографии [18, 38, 40].

³⁴Meijer W. J. M., Vertregt N., Rutgers B., Van de Waart M. The pectin content as a measure of the retting and rettability of flax. *Ind. Crops Prod.* 1995;4:273-284.

³⁵Мозохин А. Е. Совершенствование метода контроля технологических свойств льняной тресты с использованием инфракрасной спектроскопии: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.01. Кострома, 2014. 158 с.

³⁶Мозохин А. Е. Бесконтактный и неразрушимый контроль параметров льнотресты в потоке методом ближней инфракрасной спектроскопии. Инновации молодежной науки: тезисы докл. Всерос. науч. конф. молодых ученых. СПб.: СПГУТД, 2011. Ч.4. С. 182-183. Режим доступа: http://publish.sutd.ru/docs/content/st_tezis_4_2011.pdf

³⁷Вакула С. И., Леонтьев В. Н., Никитинская Т. В., Титок В. В. Сравнительный анализ количественных признаков льна культурного (*Linum Usitatissimum* L.) с использованием компьютерной морфометрии. Труды Белорусского государственного технологического университета. Серия 4: Химия и технология органических веществ. 2009;1(4):196-200. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22029903>

³⁸Электронная микроскопия. [Электронный ресурс].

Режим доступа: <http://emicroscope.ru/microscopes/rastr/termo/jsm-6510.html> (дата обращения: 5.09.2020).

³⁹Микроскоп электронный – Jeol-JSM-840A. [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://ru.medwow.com/used-electron-microscope/jeol/jsm-840a/382230297.item> (дата обращения: 24.08.2020).

⁴⁰JSM-5610 LV ООО "Токио Бэки" [Электронный ресурс].

Режим доступа: <http://emicroscope.ru/microscopes/rastr/termo/jsm-6510.html> (дата обращения: 10.03.2020).

⁴¹EDX JED-2201 JEOL ООО "Токио Бэки" [Электронный ресурс].

Режим доступа: <http://emicroscope.ru/microscopes/microanaliz/eds/jeol/jed-2300f.html> (дата обращения: 10.03.2020).

⁴²Титок В. В., Леонтьев В. Н., Юренкова С. И., Лугин В. Г., Хотылёва Л. В. Указ. соч.

Режим доступа: <https://elib.belstu.by/handle/123456789/30854>

⁴³Термогравиметрический анализ (ТГА). [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.mt.com/ru/ru/home/products/Laboratory_Analytics_Browse/TA_Family_Browse/TGA.html (дата обращения: 5.09.2020).

⁴⁴Термоанализатор TA-4000 (Mettler). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://reestrinform.ru/reestr-oborudovaniya-minpromtorg/perechen-oborudovaniya-i-priborov-dlia-fizicheskikh-issledovaniy/termoanalizator-ta-4000-mettler-obj9027.html> (дата обращения: 5.09.2020).

Автономное лазерное сканирование с помощью устройства аналитической системы (FDAS), управляемого программным обеспечением UvWin 3.60 ® (Diastron Ltd., Hampshire, UK), проводит измерение размеров поперечного сечения волокон. Благодаря высокоточной бесконтактной лазерной измерительной системе (LSM 500S⁴⁵, Mitutoyo, Japan), прибор измеряет поперечные размеры пучков волокон с разрешением до 0,01 мкм. [40]. При измерении поперечного сечения пучков применяют метод прямого оптического микропирования, которое осуществляют оптическим микроскопом Leica⁴⁶, оснащенный моноблоком и цифровым фотоаппаратом Sony [38, 40]. Изучение морфологических характеристик лигноцеллюлозных волокон проводят на рентгеновском микротомографе Skyscan 1174⁴⁷, который позволяет измерить истинный физический размер волокон, обеспечивает обнаружение мелких волокнистых образований с высоким уровнем детализации и дает возможность наблюдения их внутренней структуры. При этом возможности оборудования не позволяют проводить оценку волокна с диаметром, меньшим минимального пространственного разрешения, и длиной, превышающей максимальное пространственное разрешение 3D рентгеновского микротомографа [41].

Следует обратить внимание, что применение современных методов позволяет осуществлять контроль химического состава и структурных элементов стеблей льна на различных этапах селекции, в процессе онтогенеза и в период росистой мочки. Поскольку на сегодняшний день вопросы выведения новых сортов с высоким качеством волокна не теряют своей актуальности, то и значение использования технологической оценки в селекционном процессе многократно возрастает. Очень часто оценку льна-долгунца проводят на одном или нескольких растениях

по физико-химическим, анатомическим и морфологическим показателям. Широкое применение в селекционной практике нашли методы, разработанные А. И. Ивановым, А. А. Гурусовой⁴⁸, Н. А. Ординой [42], С. В. Дорониным, С. Ф. Тихвинским [43] и С. М. Авиром⁴⁹. Преимуществом указанных методов является получение сведений о потенциальных технологических характеристиках волокна селекционных образцов. Однако применение данных способов не дает сведений о ценности селекционных образцов с точки зрения мацерации стеблей льна в период росистой мочки. Например, при анатомическом способе оценки селекционного материала Вятской ГСХА основным критерием является коэффициент вариации диаметра элементарного волокна в одном типичном лубяном пучке, что можно использовать не только для оценки выхода волокна, но и для прогноза степени «лежкости» льняной соломы. Все методы оценки отличаются высокой трудоемкостью и продолжительностью определений. Эти недостатки были учтены при оценке технологической ценности стеблей льна-долгунца. Суть метода заключается в определении длины междоузлий, технической длины и диаметра стебля с последующим определением жировосковых веществ и разницы диаметров вершинной и комлевой частей технической длины стебля. Технологически ценными являются образцы с максимальными показателями жировосковых веществ и минимальной разницей диаметров. Преимущество данного метода заключается в возможности оценки равномерности процесса росистой мочки и однородности сырья⁵⁰. Известен также способ оценки качества волокна в стеблях льна-долгунца по морфологическим признакам, основанный на определении длины междоузлия, ширины листового следа, диаметра стеблей в вершинной, средней и комлевой частях стебля.

⁴⁵Измерительная система с лазером LSM-500S. [Электронный ресурс].

Режим доступа: <https://www.directindustry.com.ru/prod/mitutoyo/product-7785-1931803.html> (дата обращения: 12.08.2020).

⁴⁶Microscopes and Imaging Products. Available at: <https://www.leica-microsystems.com/products/> (accessed: 12.08.2020).

⁴⁷Компактный микротомограф SkyScan 1174. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://assa-group.ru/skyscan-1174> (дата обращения: 24.08.2020).

⁴⁸Иванов А. И., Гурусова А. А. Оценка качества льняных волокон на ранних этапах селекции физико-химическими методами: методические указания. М.: ВАСХНИЛ, Отделение растениеводства и селекции, КТИ, ВНИИЛ. 1988. 24 с.

⁴⁹Авиром С. М. Основы требований промышленности к качеству льняного стебля: научно-исследовательские труды ЦНИИЛВ. М., 1952. Т. VI. С. 23-65.

⁵⁰Романов В. А., Рожмина Т. А., Ковалев М. М., Белоухов С. Л. Способ оценки технологической ценности стеблей льна-долгунца: пат. 25 97552. Рос. Федерация. № 2015108332/12; заявл. 10.03.2015; опубл. 10.09.2016, Бюл. № 25. 5 с. Режим доступа: https://rusneb.ru/catalog/000224_000128_0002597552_20160910_C1_RU

Согласно методике определения, качество волокна оценивают по среднему значению отношений ширины листового следа к длине окружности стебля с учетом среднего значения длины междоузлия⁵¹. Достоинство указанного способа – простота в осуществлении и информативность оценки.

В научной литературе представлено большое количество работ отечественных учёных, посвященных прогнозированию и моделированию основных показателей качества льноволокна⁵² [44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51]⁵³.

Среди вышеуказанных методов оценки следует выделить метод автоматизированного прогнозирования технологической ценности стеблей льна. Авторы предлагают при оценке качества сортов льна использовать метод автоматизированного прогнозирования для определения формы волокнистых пучков, их размеров с последующей статистической обработкой^{54, 55, 56}. Основой автоматизированного комплекса является цифровой микроскоп типа WEBBERS G50s⁵⁷ с цифровой камерой, USB и ПК. Применение данного метода позволит с высокой точностью и незначительными затратами времени прогнозировать качество испытуемых сортов. Преимуществом метода является точность, быстрота оценки количественных и качественных показателей анатомического строения стебля льна⁵⁸ [44, 50].

Оценкой сортов льна-долгунца по анатомо-морфологическим признакам с применением ЭВМ и программного комплекса AutoScan

Studio 3.0 занималась группа белорусских ученых. Отмечена эффективность и целесообразность использования компьютерной морфометрии при прогнозировании и идентификации качества льноволокна⁵⁹ [32].

Заключение. Для оценки качества льносырья всё чаще используются методы и приборы, созданные на основе достижений современной техники. Вместо трудоёмких методов оценки находят свое применение спектроскопические, микроскопические и термогравиметрические методы, которые предполагают быстрый, точный и неразрушающий контроль показателей.

Безусловно, перспективы практического применения представленных современных технологий, несмотря на высокую стоимость оборудования, достаточно велики. Зарубежные ученые отмечают возможность применения NIR-спектроскопии в разработке недорогого устройства, использующего несколько длин волн, для определения воска в чистом волокне. Исследования и разработки по данному направлению весьма перспективны.

Разработки отечественных ученых, которые не проверены в производстве, могут быть усовершенствованы на основе новых технологий, что обеспечит производителей необходимым оборудованием. Вероятнее всего наиболее целесообразно использовать комплексный подход, основанный на применении существующих разработок и современных технологий.

⁵¹Пашина Л. В., Пашин Е. Л. Способ оценки качества волокна в стеблях льна-долгунца по морфологическим признакам: пат. 2369671. Рос. Федерация. № 2008134848/12; заявл. 25.08.2008; опубл. 10.10.2009, Бюл. № 28. 4 с. Режим доступа: https://rusneb.ru/catalog/000224_000128_0002369671_20091010_C1_RU

⁵²Орлов А. В., Пашин Е. Л. Обоснование условий для определения линейной плотности лубяных волокон с применением их цифровых изображений: мат-лы докладов 51-й Междунар. научно-техн. конф. Витебск: Витебский государственный технологический университет, 2018. С. 21-23. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36354068>

⁵³Болонкин В. А., Федосова Н. М., Вихарев С. М. Методы обработки изображений для изучения анатомической структуры льняных стеблей. Научные труды молодых ученых КГТУ. Кострома: КГТУ, 2008. Вып. 9. Ч. 1. С. 9-12. Режим доступа: https://ksu.edu.ru/files/NAUKA/Public_D/Arhiv%20period%20izdaniy/NTMU/05_NTMU_09_ch1_2008.pdf

⁵⁴Вихарев С. М., Федосова Н. М., Болонкин В. А. Автоматизация анатомического анализа льняных стеблей. Актуальные проблемы науки в агропромышленном комплексе: мат-лы 58-й Междунар. научн.-практ. конф.: в 3 т. Кострома: КГСХА, 2007. Т. 3. С. 146-148.

⁵⁵Вихарев С. М., Федосова Н. М., Болонкин В. А. Разработка методов и средств автоматизированной оценки технологической ценности льна по анатомическим признакам. Высокоэффективные разработки и инновационные проекты в льняном комплексе России: мат-лы Междунар. научн.-практ. конф. Вологда, 2007. С. 164-167.

⁵⁶Вихарев С. М., Федосова Н. М., Болонкин В. А. Способ прогнозирования технологической ценности льна на основе анатомических параметров стебля: пат. 2007123070. Рос. Федерация. № 2007123070/12; заявл. 19.06.2007; опубл. 27.12.2008, Бюл. № 36. 8 с. Режим доступа: https://vandex.ru/patents/doc/RU2007123070A_20081227 (дата обращения: 14.08.2020).

⁵⁷WEBBERS G50s. Цифровой микроскоп WEBBERS G50s. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://festima.ru/docs/64191344/piter/tsifrovoy-mikroskop-webbers-g50s> (дата обращения: 2.03.2020).

⁵⁸Вихарев С. М., Федосова Н. М., Болонкин В. А. Программно-измерительный комплекс для оценки технологической ценности льна. Современные проблемы текстильной и легкой промышленности: мат-лы межвузов. научн.-техн. конф.: тезисы докладов. М.: РосЗИТЛП, 2008. Ч. 1 С. 11.

⁵⁹Никитинская Т. В., Вакула С. И., Коваленко М. Н., Лугин В. Г., Титок В. В. Компьютерная морфометрия в систематике льна культурного (*Linum Usitatissimum* L.). Труды БГУ. Минск: БГУ, 2008. Т.3. Ч.1. С. 196-200. Режим доступа: <https://elib.belstu.by/handle/123456789/32471>

Список литературы

1. Алибеков М. Б. Совершенствование системы защиты в посевах льна-долгунца как элемента технологии его возделывания. *АгроЭкоИнфо*. 2018;(4(34)):31-42. Режим доступа: <http://agroecoinfo.narod.ru/journal/>
2. Ущাপовский И. В., Новиков Э. В., Басова Н. В., Безбаченко А. В., Галкин А. В. Системные проблемы льнокомплекса России и зарубежья, возможности их решения. *Молочнохозяйственный вестник*. 2017;(1(25)):166-186. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28914488>
3. Зеленцов С. В. История культуры льна в мире и России. *Масличные культуры. Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур*. 2017;(1(169)):93-103. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29240353>
4. Шаршунов В. А., Алексеенко А. С., Цайц М. В. Состояние льноводческой отрасли Республики Беларусь и пути повышения её эффективности. *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*. 2019;(2):267-271. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38552752>
5. Алисеевич С. О., Соколов Л. Е., Коган А. Г. Исследование влияния условий возделывания льна-долгунца на качественные показатели льнотресты и результаты её механической обработки. *Вестник Витебского государственного технологического университета*. 2013;(2(25)):7-12. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21018334>
6. Mańkowska J., Maksymiuka W., Sychalskia G., Kołodzieja J., Kubackia A., Kupkaa D., Pudelkob K. Research on New Technology of Fiber Flax Harvesting. *Natural Fibers*. 2018;15(1):53-61. DOI: <https://doi.org/10.1080/15440478.2017.1302390>
7. Hu W, Ton-That M-T., Denault J, Rho D, Yang J, Lau P. C. K. Comparison between dew-retted and enzyme-retted flax fibers as reinforcing material for composite. *Polymer engineering and science*. 2012;52(1):165-171. DOI: <https://doi.org/10.1002/pen.22060>
8. Виноградова А. Е., Куликов А. Н., Пашин Е. Л. Соболева Е. В. Приборное обеспечение нового метода оценки качества льняной тресты и волокна. *Достижения науки и техники АПК*. 2007;(6):40-42. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=10429094>
9. Евдокимов И. В., Хронюк В. Б. Формирование новой технологической основы для обеспечения произрастания льна-долгунца в неблагоприятных землетехнических условиях. *Московский экономический журнал*. 2019;(12):505-517. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-novoy-tehnologicheskoy-osnovy-dlya-obespecheniya-proizrostaniya-lna-dolguntsa-v-neblagopriyatnyh-zemletehnicheskikh/viewer>
10. Пашина Л. В., Пашин Е. Л. Совершенствование метода определения выхода длинного волокна для квалиметрии сортов льна-долгунца. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2016;(1(50)):19-23. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25476135>
11. Norton A. J., Bennett S. J., Hughes M., Dimmock J. P. R. E., Wright D., Newman G., Harris I. M., Edwards-Jones G. Determining the physical properties of flax fibre for industrial applications: the influence of agronomic practice. *Annals of Applied Biology*. 2006;149(1):15-25. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2006.00066.x>
12. Nair G. R., Singh A., Zimniewska M., Raghavan V. Comparative Evaluation of Physical and Structural Properties of Water Retted and Non-retted Flax Fibers. *Fibers*. 2013;1(3):59-69. DOI: <https://doi.org/10.3390/fib1030059>
13. Ruan P., Raghavan V., Gariepy Y., Du J. Characterization of Flax Water Retting of Different Durations in Laboratory Condition and Evaluation of Its Fiber Properties *bioresources*. 2015;10(2):3553-3563. URL: <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/characterization-of-flax-water-retting-of-different-durations-in-laboratory-condition-and-evaluation-of-its-fiber-properties/>
14. Van den Oever M. J. A., Bas N., van Soest L. J. M., Melis C., van Dam J. E. G. Improved method for fibre content and quality analysis and their application to flax genetic diversity investigations. *Industrial Crops & Products*. 2003;18(3):231-243. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0926-6690\(03\)00063-3](https://doi.org/10.1016/S0926-6690(03)00063-3)
15. Akin D. E., Dodd R. B., Foulk J., Morrison H. Flax Research in the US: Production, Retting, Processing, and Standards. *International Conference for Renewable Resources and Plant Biotechnology NAROSSA: Poznan, Poland*. 2005. URL: https://www.researchgate.net/publication/282810060_Flax_Research_in_the_US_Production_Retting_Processing_and_Standards
16. Kessler R. W., Becker U., Kohler R., Goth B. Steam explosion of flax-a superior technique for upgrading fibre value. *Biomass Bioenergy*. 1998;14:237-249.
17. Sharma H. S. S., Faughey G. J. Comparison of subjective and objective methods to assess flax straw cultivars and fibre quality after dew-retting. *Ann. Appl. Biol.* 1999;135:495-501.
18. Martin N., Mouret N., Davies P., Baley C. Influence of the degree of retting of flax fibers on the tensile properties of single fibers and short fiber polypropylene composites. 2013;49:755-767. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.06.012>
19. Akin E. D. Standards for Flax Fiber. 2005. Available at: https://www.astm.org/SNEWS/SEPTEMBER_2005/akin_sep05.html (accessed: 12.09.2020).

20. Катков А. А., Бронза В. Л. Особенности контроля влажности льнотресты методом ИК-спектрометрии. Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2007;(4(299)):119-121. Режим доступа: https://tftp.ivgpu.com/wp-content/uploads/2015/11/299_35.pdf
21. Ефремов А. С., Катков А. А. Определение свойств льнотресты по инфракрасным спектрам. Научный вестник Костромского государственного технологического университета. 2009;(2):14 с.
22. Мозохин А. Е., Колесникова И. А., Дроздов В. Г. Обоснование возможности контроля содержания льняного волокна в тресте методом инфракрасной спектрометрии. Вестник Костромского государственного университета им. Н. А. Некрасова. 2013;19(6):11-13. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21022710>
23. Ефремов А. С., Катков А. А. Определение свойств льнотресты по инфракрасным спектрам. Вестник Костромского государственного технологического университета. 2009;(21):48-51. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13012680>
24. Дроздов В. Г., Мозохин А. Е. Особенности применения метода инфракрасной спектроскопии пропускания для оценки качества льнотресты. Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2015;(6):38-42. Режим доступа: https://tftp.ivgpu.com/wp-content/uploads/2016/02/360_8.pdf
25. Мочалов Л. В., Дроздов В. Г. Управление технологическими процессами при обработке льнотресты. Вестник Череповецкого государственного университета. 2018;(4):23-30. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35344259>
26. Faughey G. J., Sharma S. S., McCall R. D. Determining fiber fineness in flax using derivative thermogravimetric analysis, scanning electron microscopy, and airflow methods. Journal of Applied Polymer Science. 2020;(75(4)):508-514. DOI: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4628\(20000124\)75:4<508::AID-APP5>3.0.CO;2-L](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4628(20000124)75:4<508::AID-APP5>3.0.CO;2-L)
27. Titok V. V., Leontiev V. N., Yurenkova S., Nikitinskaya T., Barannikova T., Khotyleva L. V. Infrared Spectroscopy of Fiber Flax. Journal of Natural Fibers. 2010; 7(1):61-69. DOI: <https://doi.org/10.1080/15440470903579275>
28. Мозохин А. Е., Колесникова И. А., Дроздов В. Г. Обоснование возможности качественного анализа химического состава льняной тресты методом инфракрасной спектрометрии ближней области. Вестник Костромского государственного университета им. Н. А. Некрасова. 2012;18(1):31-36. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18934897>
29. Enakiev Y. I., Grishina E. A., Belopukhov S. L., Dmitrevskaya I. I. Application of NIR spectroscopy for cellulose determination in flax. Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2018;(24(5)):897-901. URL: <https://agrojournal.org/24/05-26.pdf>
30. Sohn M., Himmelsbach D. S., Morrison W. H., Akin D. E., Barton F. E. Partial Least Squares Regression Calibration for Determining Wax Content in Processed Flax Fiber by Near-Infrared Spectroscopy. Applied Spectroscopy. 2006;60(4):437-440. URL: <https://www.osapublishing.org/as/abstract.cfm?uri=as-60-4-437>
31. Faughey G. J., Sharma H. S. S. A Preliminary evaluation of near infrared spectroscopy for assessing physical and chemical characteristics of flax fibre. Journal of Near Infrared Spectroscopy. 2000;8(1):61-69. DOI: <https://doi.org/10.1255/jnirs.265>
32. Титок В. В., Леонтьев В. Н., Никитинская Т. В., Лугин В. Г., Хотылёва Л. В. Оценка качества волокон подвидов льна культурного (*Linum Usitatissimum* L.). Доклады Национальной академии наук Беларуси. 2009;53(5):73-79. Режим доступа: <http://csl.bas-net.by/xfile/doklad/2009/05-2009/7022i.pdf>
33. Титок В. В., Шостак Л. М., Лайковская И. В., Леонтьев В. Н., Хотылёва Л. В. Термогравиметрический анализ льноволокна. Клеточные ядра и пластиды растений: биохимия и биотехнология: сб. мат-лов Международ. конф. Минск: УП «Технопринт», 2004. С. 267-271. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29775811&>
34. Titok V., Leontiev V., Shostak L., Khotyleva L. J. Thermogravimetric Analysis of the Flax Bast Fibre Bundle. Nat. Fibers. 2006;3(1):35-41.
35. Faughey G. J., Sharma H. S. S. Evaluating Weavability in Flax Yarn Using near Infrared Spectroscopy. Journal of Near Infrared Spectroscopy 2002;10(2):151-163. DOI: <https://doi.org/10.1255/jnirs.331>
36. Van de Velde K., Baetens E. Thermal and mechanical properties of flax fibres as potential composite reinforcement. Macromol. Mater. Eng. 2001;286:342-349.
37. Sharma H. S. S., Faughey G., Lyons G. Comparison of physical, chemical, and thermal characteristics of water-, dew-, and enzy me-retted flax fibers. J. Appl. Polym. Sci. 1999;74:139-143.
38. Bourmaud A., Morvan C., Baley C. Importance of fiber preparation to optimize the surface and mechanical properties of unitary flax fiber. Industrial Crops and Products. 2010;32(3):662-667. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.08.002>
39. Pillin I., Kervoelen A., Bourmaud A., Goimard J., Montrelay N., Baley C. Could oleaginous flax fibers be used as reinforcement for polymers? Industrial Crops and Products. 2011;(34):1556-1563.
40. Garat W., Corn S., Le Moigne N., Beaugrand J., Bergeret A. Analysis of the morphometric variations in natural fibres by automated laser scanning: towards an efficient and reliable assessment of the cross-sectional area. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. 2018;108:114-123. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2018.02.018>

41. Hamdi S. E., Delisée C., Malvestio J., Da Silva N., Le Duc A., Beaugrand J. X-ray computed microtomography and 2D image analysis for morphological characterization of short lignocellulosic fibers raw materials: A benchmark survey. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2015;(76):1-9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.04.019>
42. Ордина Н. А. Структура лубоволокнистых растений и ее изменение в процессе переработки. М.: «Легкая индустрия», 1978. 128 с.
43. Доронин С. В., Тихвинский С. Ф. Лен-долгунец. Технология возделывания и селекция. Киров: ВГСХА, 2003. 84 с.
44. Болонкин В. А. Обоснование метода автоматизированного прогнозирования технологической ценности льна по морфологическим параметрам. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pandia.ru/text/78/086/2697.php> (дата обращения: 20.02.2020)
45. Федосова Н. М., Вихарев С. М., Болонкин В. А. Совершенствование способа оценки льна-долгунца по морфологическим признакам. *Достижения науки и техники АПК*. 2012;(11):68-70. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18231968>
46. Орлов А. В., Пашин Е. Л. Метод подготовки изображения пробы лубяных волокон для оптической оценки их геометрических характеристик. *Технологии и качество*. 2018;1(39):43-47. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35526234>
47. Федосова Н. М., Вихарев С. М., Болонкин В. А. Совершенствование анатомического анализа льна. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2009;2(314):22-23. Режим доступа: https://tvp.ivgpu.com/wp-content/uploads/2015/11/314_8.pdf
48. Пашин Е. Л., Орлов А. В., Степанкова Т. А. Обоснование условий для определения линейной плотности лубяных волокон с применением их цифровых изображений. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2016;(2(362)):79-82. Режим доступа: https://tvp.ivgpu.com/wp-content/uploads/2016/05/362_17.pdf
49. Федосова Н. М., Болонкин В. А., Вихарев С. М. Обоснование метода автоматизированного прогнозирования технологической ценности льна. *Вестник Костромского государственного технологического университета*. 2007;(15):26-28.
50. Федосова Н. М., Болонкин В. А., Вихарев С. М. Разработка алгоритма определения формы волокнистых пучков на срезе льняного стебля. *Вестник Костромского государственного технологического университета*. 2010;(1):68-70. Режим доступа: <https://studylib.ru/doc/604335/razrabotka-algoritma-opredeleniya-formy-voлокнистых-puchkov>
51. Соколов А. С., Федосова Н. М., Вихарев С. М. Совершенствование способа определения цветковых характеристик волокнистых пучков при автоматизированном анатомическом анализе льняных стеблей. *Вестник Костромского государственного университета им. Н. А. Некрасова*. 2012;18(1):20-22. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18934894>

References

1. Alibekov M. B. *Sovershenstvovanie sistemy zashchity v posevakh l'na-dolguntsa kak elementa tekhnologii ego vozdeleyvaniya*. [Improvement of the protection system in flax crops as an element of its cultivation technology]. *AgroEkoInfo = AgroEcoInfo*. 2018;(4(34)):31-42. (In Russ.). URL: <http://agroecoinfo.narod.ru/journal/>
2. Ushchapovsky I. V., Novikov E. V., Basova N. V., Bezbachenko A. V., Galkin A. V. *Sistemnye problemy l'no-kompleksa Rossii i zarubezh'ya, vozmozhnosti ikh resheniya*. [System problems of flax growing in Russia and abroad, the possibilities of their solution]. *Molochnokhozyaystvennyy vestnik*. 2017;(1(25)):166-186. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28914488>
3. Zelentsov S. V. *Istoriya kul'tury l'na v mire i Rossii. Maslichnye kul'tury*. [History of flax crop in the world and Russia]. *Maslichnye kul'tury. Nauchno-tekhnicheskij byulleten' Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur = Oil crops. Scientific and technical Bulletin of VNIIMK*. 2017;(1(169)):93-103. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29240353>
4. Sharshunov V. A., Alekseenko A. S., Tsayts M. V. *Sostoyanie l'no-vodcheskoy otrasli Respubliki Belarus' i puti povysheniya ee effektivnosti*. [State of the flax-growing industry of the Republic of Belarus and ways to improve its efficiency]. *Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2019;(2):267-271. (In Belarus). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38552752>
5. Aliseevich S. O., Sokolov L. E., Kogan A. G. *Issledovanie vliyaniya usloviy vozdeleyvaniya l'na-dolguntsa na kachestvennye pokazateli l'notresty i rezul'taty ee mekhanicheskoy obrabotki*. [Research of the influence of flax growth conditions on the quality properties of flax straw and the results of its processing]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2013;(2(25)):7-12. (In Belarus). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21018334>
6. Mańkowskia J., Maksymiuka W., Spsychalskia G., Kołodzieja J., Kubackia A., Kupkaa D., Pudelkob K. Research on New Technology of Fiber Flax Harvesting. *Natural Fibers*. 2018;15(1):53-61. DOI: <https://doi.org/10.1080/15440478.2017.1302390>

7. Hu W, Ton-That M-T., Denault J, Rho D, Yang J, Lau P. C. K. Comparison between dew-retted and enzyme-retted flax fibers as reinforcing material for composite. *Polymer engineering and science*. 2012;52(1):165-171. DOI: <https://doi.org/10.1002/pen.22060>
8. Vinogradova A. E., Kulikov A. N., Pashin E. L., Soboleva E. V. *Pribornoe obespechenie novogo metoda otsenki kachestva l'nyanoy tresty i volokna*. [Instrument support of a new method for evaluating the quality of flax retted straw and fibers]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Agricultural Science Euro-North-East*. 2007;(6):40-42. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=10429094>
9. Evdokimov I. V., Hronyuk V. B. *Formirovanie novoy tekhnologicheskoy osnovy dlya obespecheniya proizvodstvaniya l'na-dolguntsa v neblagopriyatnykh zemletekhnicheskikh usloviyakh*. [Formation of a new technological basis for ensuring the growth of flax under unfavorable conditions]. *Moskovskiy ekonomicheskii zhurnal = Moscow journal*. 2019;(12):505-517. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-novoy-tehnologicheskoy-osnovy-dlya-obespecheniya-proizrostaniya-lna-dolguntsa-v-neblagopriyatnyh-zemletekhnicheskikh/viewer>
10. Pashina L. V., Pashin E. L. *Sovershenstvovanie metoda opredeleniya vykhoda dlinnogo volokna dlya kvalimetrii sortov l'na-dolguntsa*. [Improving of method for determination of the long fiber output for qualimetry of flax varieties]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2016;(1(50)):19-23. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25476135>
11. Norton A. J., Bennett S. J., Hughes M., Dimmock J. P. R. E., Wright D., Newman G., Harris I. M., Edwards-Jones G. Determining the physical properties of flax fibre for industrial applications: the influence of agronomic practice. *Annals of Applied Biology*. 2006;149(1):15-25. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2006.00066.x>
12. Nair G. R., Singh A., Zimniewska M., Raghavan V. Comparative Evaluation of Physical and Structural Properties of Water Retted and Non-retted Flax Fibers. *Fibers*. 2013;1(3):59-69. DOI: <https://doi.org/10.3390/fib1030059>
13. Ruan P., Raghavan V., Garipey Y., Du J. Characterization of Flax Water Retting of Different Durations in Laboratory Condition and Evaluation of Its Fiber Properties bioresources. 2015;10(2):3553-3563. URL: <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/characterization-of-flax-water-retting-of-different-durations-in-laboratory-condition-and-evaluation-of-its-fiber-properties/>
14. Van den Oever M. J. A., Bas N., van Soest L. J. M., Melis C., van Dam J. E. G. Improved method for fibre content and quality analysis and their application to flax genetic diversity investigations. *Industrial Crops & Products*. 2003;18(3):231-243. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0926-6690\(03\)00063-3](https://doi.org/10.1016/S0926-6690(03)00063-3)
15. Akin D. E., Dodd R. B., Foulk J., Morrison H. Flax Research in the US: Production, Retting, Processing, and Standards. International Conference for Renewable Resources and Plant Biotechnology NAROSSA: Poznan, Poland. 2005. URL: https://www.researchgate.net/publication/282810060_Flax_Research_in_the_US_Production_Retting_Processing_and_Standards
16. Kessler R. W., Becker U., Kohler R., Goth B. Steam explosion of flax-a superior technique for upgrading fibre value. *Biomass Bioenergy*. 1998;14:237-249.
17. Sharma H. S. S., Faughey G. J. Comparison of subjective and objective methods to assess flax straw cultivars and fibre quality after dew-retting. *Ann. Appl. Biol.* 1999;135:495-501.
18. Martin N., Mouret N., Davies P., Baley C. Influence of the degree of retting of flax fibers on the tensile properties of single fibers and short fiber polypropylene composites. 2013;49:755-767. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.06.012>
19. Akin E. D. Standards for Flax Fiber. 2005. Available at: https://www.astm.org/SNEWS/SEPTEMBER_2005/akin_sep05.html (accessed 12.09.2020).
20. Katkov A. A., Bronza V. L. *Osobennosti kontrolya vlazhnosti l'notresty metodom IK-spektrometrii*. [The features of automatic moisture control of retted straw with the infrared spectrometry]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*. 2007;(4(299)):119-121. (In Russ.). URL: https://tp.ivgpu.com/wp-content/uploads/2015/11/299_35.pdf
21. Efremov A. S., Katkov A. A. *Opredelenie svoystv l'notresty po infrakrasnym spektram*. [Determination of the properties of flax retted straw by infrared spectra]. *Nauchnyy vestnik Kostromskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2009;(2):14 c. (In Russ.).
22. Mozohin A. E., Kolesnikova I. A., Drozdov V. G. *Obosnovanie vozmozhnosti kontrolya sodержaniya l'nyanogo volokna v treste metodom infrakrasnoy spektrometrii*. [Justification of the possibility of control to flax fiber content in flax stock by infrared spectrometry]. *Vestnik Kostromskogo gosudarstvennogo universiteta im. N. A. Nekrasova*. 2013;19(6):11-13. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21022710>
23. Efremov A. S., Katkov A. A. *Opredelenie svoystv l'notresty po infrakrasnym spektram*. [Determination of the properties of flax retted straw by infrared spectra]. *Vestnik Kostromskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta = Vestnik of Kostroma State Technological University*. 2009;(21):48-51. (In Russ.).
24. Drozdov V. G., Mozohin A. E. *Osobennosti primeneniya metoda infrakrasnoy spektroskopii propuskaniya dlya otsenki kachestva l'notresty*. [Peculiarities of application of the method of infrared spectroscopy bandwidth for

- assessing the quality of flax]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*. 2015;(6):38-42. (In Russ.). URL: https://tp.ivgpu.com/wp-content/uploads/2016/02/360_8.pdf
25. Mochalov L. V., Drozdov V. G. *Upravlenie tekhnologicheskimi protsessami pri obrabotke l'notresty*. [Process control in the processing of flax]. *Vestnik Cherepovetskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2018;(4):23-30. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35344259>
26. Faughey G. J., Sharma S. S., McCall R. D. Determining fiber fineness in flax using derivative thermogravimetric analysis, scanning electron microscopy, and airflow methods. *Journal of Applied Polymer Science*. 2020; (75(4)):508-514. DOI: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4628\(20000124\)75:4<508::AID-APP5>3.0.CO;2-L](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4628(20000124)75:4<508::AID-APP5>3.0.CO;2-L)
27. Titok V. V., Leontiev V. N., Yurenkova S., Nikitinskaya T., Barannikova T., Khotyleva L. V. Infrared Spectroscopy of Fiber Flax. *Journal of Natural Fibers*. 2010; 7(1):61-69. DOI: <https://doi.org/10.1080/15440470903579275>
28. Mozohin A. E., Kolesnikova I. A., Drozdov V. G. *Obosnovanie vozmozhnosti kachestvennogo analiza khimicheskogo sostava l'nyanoy tresty metodom infrakrasnoy spektrometrii blizhney oblasti*. [Comparison of chemical and spectral analysis of different kinds of flax stock]. *Vestnik Kostromskogo gosudarstvennogo universiteta im. N. A. Nekrasova*. 2012;18(1):31-36. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18934897>
29. Enakiev Y. I., Grishina E. A., Belopukhov S. L., Dmitrevskaya I. I. Application of NIR spectroscopy for cellulose determination in flax. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2018;(24(5)):897-901. URL: <https://agrojournal.org/24/05-26.pdf>
30. Sohn M., Himmelsbach D. S., Morrison W. H., Akin D. E., Barton F. E. Partial Least Squares Regression Calibration for Determining Wax Content in Processed Flax Fiber by Near-Infrared Spectroscopy. *Applied Spectroscopy*. 2006;60(4):437-440. URL: <https://www.osapublishing.org/as/abstract.cfm?uri=as-60-4-437>
31. Faughey G. J., Sharma H. S. S. A Preliminary evaluation of near infrared spectroscopy for assessing physical and chemical characteristics of flax fibre. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*. 2000;8(1):61-69. DOI: <https://doi.org/10.1255/jnirs.265>
32. Titok V. V., Leontiev V. N., Nikitinskaya T. V., Lugin V. G., Khotyleva L. V. *Otsenka kachestva volokna podvidov l'na kul'turnogo (Linum Usitatissimum L.)*. [Analysis of the fiber quality in common flax (*Linum Usitatissimum* L.) subspecies]. *Doklady Natsional'noy akademii nauk Belarusi*. 2009;53(5):73-79. (In Belarus). URL: <http://csl.bas-net.by/xfile/doklad/2009/05-2009/7022i.pdf>
33. Titok V. V., Shostak L. M., Laykovskaya I. V., Leontiev V. N., Khotyleva L. V. *Termogravimetricheskii analiz l'novolokna*. [Thermogravimetric analysis of flax fiber]. *Kletochnye yadra i plastidy rasteniy: biokhimiya i biotekhnologiya: sb. mat-lov Mezhdunarod. konf.* [The cell nuclei and plastids of plants: biochemistry and biotechnology: collected materials of the International Conf]. Minsk: UP «Tekhnoprint», 2004. pp. 267-271. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29775811&>
34. Titok V., Leontiev V., Shostak L., Khotyleva L. J. Thermogravimetric Analysis of the Flax Bast Fibre Bundle. *Nat. Fibers*. 2006;3(1):35-41.
35. Faughey G. J., Sharma H. S. S. Evaluating Weavability in Flax Yarn Using near Infrared Spectroscopy. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 2002;10(2):151-163. DOI: <https://doi.org/10.1255/jnirs.331>
36. Van de Velde K., Baetens E. Thermal and mechanical properties of flax fibres as potential composite reinforcement. *Macromol. Mater. Eng.* 2001;286:342-349.
37. Sharma H. S. S., Faughey G., Lyons G. Comparison of physical, chemical, and thermal characteristics of water-, dew-, and enzyme-retted flax fibers. *J. Appl. Polym. Sci.* 1999;74:139-143.
38. Bourmaud A., Morvan C., Baley C. Importance of fiber preparation to optimize the surface and mechanical properties of unitary flax fiber. *Industrial Crops and Products*. 2010;32(3):662-667. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.08.002>
39. Pillin I., Kervolen A., Bourmaud A., Goimard J., Montrelay N., Baley C. Could oleaginous flax fibers be used as reinforcement for polymers? *Industrial Crops and Products*. 2011;(34):1556-1563.
40. Garat W., Corn S., Le Moigne N., Beaugrand J., Bergeret A. Analysis of the morphometric variations in natural fibres by automated laser scanning: towards an efficient and reliable assessment of the cross-sectional area. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2018;108:114-123. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2018.02.018>
41. Hamdi S. E., Delisée C., Malvestio J., Da Silva N., Le Duc A., Beaugrand J. X-ray computed microtomography and 2D image analysis for morphological characterization of short lignocellulosic fibers raw materials: A benchmark survey. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2015;(76):1-9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.04.019>
42. Ordina N. A. *Struktura lubovoloknistykh rasteniy i ee izmenenie v protsesse pererabotki*. [Structure of bast fiber plants and its change in the process of processing]. Moscow: «Legkaya industriya», 1978. 128 p.
43. Doronin S. V., Tikhvinskiy S. F. *Len-dolgunets. Tekhnologiya vozdeyvaniya i selektsiya*. [Fiber flax. Technology of cultivation and breeding]. Kirov: VGSKhA, 2003. 84 p.
44. Bolonkin V. A. *Obosnovanie metoda avtomatizirovannogo prognozirovaniya tekhnologicheskoy tsennosti l'na po morfologicheskim parametram*. [Basis of method of flax technological value automatic prediction under morphology parameters]. Available at: <https://pandia.ru/text/78/086/2697.php> (accessed 20.02.2020).

45. Fedosova N. M., Vikharev S. M., Bolonkin V. A. *Sovershenstvovanie sposoba otsenki l'na-dolguntsa po morfologicheskim priznakam*. [Improved method of estimation fiber flax on morphological grounds]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2012;(11):68-70. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18231968>

46. Orlov A. V., Pashin E. L. *Metod podgotovki izobrazheniya proby lubyanykh volokon dlya opticheskoy otsenki ikh geometricheskikh kharakteristik*. [A method of preparing a digital image of bast fibres samples for optical measurement of its geometric properties]. *Tekhnologii i kachestvo = Technologies & Quality*. 2018;1(39):43-47. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35526234>

47. Fedosova N. M., Vikharev S. M., Bolonkin V. A. *Sovershenstvovanie anatomicheskogo analiza l'na*. [The improvement of flax's anatomic analysis]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*. 2009;2(314):22-23. (In Russ.). URL: https://tp.ivgpu.com/wp-content/uploads/2015/11/314_8.pdf

48. Pashin E. L., Orlov A. V., Stepankova T. A. *Obosnovanie usloviy dlya opredeleniya lineynoy plotnosti lubyanykh volokon s primeneniem ikh tsifrovyykh izobrazheniy*. [Justification of conditions for creating digital images of flax fiber samples in relation to determining fiber split level of the sample]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*. 2016;(2(362)):79-82. (In Russ.). URL: https://tp.ivgpu.com/wp-content/uploads/2016/05/362_17.pdf

49. Fedosova N. M., Bolonkin V. A., Vikharev S. M. *Obosnovanie metoda avtomatizirovannogo prognozirovaniya tekhnologicheskoy tsennosti l'na*. [Justification of the method of automated forecasting of the technological value of flax]. *Vestnik Kostromskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta = Vestnik of Kostroma State Technological University*. 2007;(15):26-28. (In Russ.).

50. Fedosova N. M., Bolonkin V. A., Vikharev S. M. *Razrabotka algoritma opredeleniya formy voloknistykh puchkov na sreze l'nyanogo steblya*. [Development of an algorithm for determining the shape of fibrous bundles on a flax stalk cut]. *Vestnik Kostromskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta = Vestnik of Kostroma State Technological University*. 2010;(1):68-70. (In Russ.). URL: <https://studylib.ru/doc/604335/razrabotka-algoritma-opredeleniya-formy-voloknistyh-puchkov>

51. Sokolov A. S., Fedosova N. M., Vikharev S. M. *Sovershenstvovanie sposoba opredeleniya tsvetovykh kharakteristik voloknistykh puchkov pri avtomatizirovannom anatomicheskom analize l'nyanykh steblye*. [Improving the method for determining the color characteristics of fiber bundles for automated anatomical analysis of the flax stems]. *Vestnik Kostromskogo gosudarstvennogo universiteta im. N. A. Nekrasova*. 2012;18(1):20-22. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18934894>

Сведения об авторах

✉ **Шиманская Наталья Сергеевна**, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», Комсомольский проспект, 17/56, г. Тверь, Российская Федерация, 170041, e-mail: info@fncl.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5819-1351>, e-mail: n.shimanskaya@fncl.ru

Ущапковский Игорь Валентинович, кандидат биол. наук, заместитель директора по научной работе, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», Комсомольский проспект, д. 17/56, г. Тверь, Российская Федерация, 170041, e-mail: info@fncl.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0602-1211>

Прокофьев Сергей Владимирович, научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», Комсомольский проспект, 17/56, г. Тверь, Российская Федерация, 170041, e-mail: info@fncl.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0113-3943>, e-mail: s.prokofiev@fncl.ru

Information about the authors

✉ **Natalia S. Shimanskaya**, PhD in Agricultural science, leading researcher, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Komsomolsky Prospekt, 17/56, Tver, Russian Federation, 170041, e-mail: info@fncl.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5819-1351>, e-mail: n.shimanskaya@fncl.ru

Igor V. Uschapovsky, PhD in Biology, Deputy Director for Science, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Komsomolsky Prospekt, 17/56, Tver, Russian Federation, 170041, e-mail: info@fncl.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0602-1211>

Sergey V. Prokofiev, researcher Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Komsomolsky Prospekt, 17/56, Tver, Russian Federation, 170041, e-mail: info@fncl.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0113-3943>, e-mail: s.prokofiev@fncl.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author