

УДК 677.027.625.3; 677.11.118

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИДАНИЯ АНТИМИКРОБНЫХ СВОЙСТВ ЭЛЕМЕНТАРИЗОВАННОМУ ЛЬНЯНОМУ ВОЛОКНУ

© Н.С. Дымникова, Е.В. Ерохина\*, А.П. Морыганов

*Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН, ул. Академическая, 1, Иваново, 153045 (Россия), e-mail: erochina2007@yandex.ru*

Проведено сравнение антимикробной активности льноволокна, полученных разными способами и допированных препаратами серебра или четвертичных аммониевых солей. Элементаризованное льняное волокно, полученное методом многократных циклических деформирующих нагрузок, принципиально отличается от известных аналогов (котонизированного волокна) практически полным отсутствием механических примесей. Важной особенностью элементаризованного льноволокна является развитая капиллярно-пористая поверхность, о чем свидетельствует его высокая сорбционная способность. Стандартными методами материаловедения определяли среднюю массодлину, линейную плотность, содержание волокон пуховой группы, содержание костры, а также показатели гигроскопичности. Степень белизны определяли с помощью лейкометра фирмы Carl Zeiss JENA. Методом спектрофотометрии с применением спектрофотометра Agilent 8453 контролировали количественный выход на волокно антисептических препаратов («По-виаргол» и «Хлоргексидин»). Антимикробную активность исследуемых льноволокна определяли путем оценки изменения коэффициентов светопропускания растворов (содержащих питательную среду для микробных культур) до и после внесения в них исследуемых образцов. Установлено, что элементаризованное льноволокно более эффективно подавляет рост микрофлоры тест-культур *E.coli*, *Staphylococcus aureus* и дрожжеподобного гриба *Candida albicans*, чем механически очищенное.

*Ключевые слова:* элементаризованное льноволокно, котонизированное льноволокно, антисептические препараты, антимикробные свойства.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (проект № 15-48-03021).*

### Введение

Целесообразность изготовления современных конкурентоспособных материалов медицинского и санитарно-гигиенического назначения на основе льняного волокна обусловлена его превосходством по медико-биологическим свойствам над хлопковыми и гидратцеллюлозными волокнами. Структура целлюлозы, микроструктура и компонентный состав льняного волокна предопределяют его высокую гигроскопичность, терморегуляторные свойства, способность угнетать жизнедеятельность микрофлоры, не вызывать аллергических эффектов и т.д. Известна способность льна предотвращать инфицирование ран, ускорять их лечение и заживление. Содержание в льноволокне до 58 наименований микроэлементов также влияет на медико-биологические свойства льна, несмотря на то, что их количество исчисляется долями

миллиграммов. Кроме того, присутствие в льне соединений различной природы и взаимодействие их с иммобилизуемыми функциональными препаратами различного спектра действия (антимикробные, лекарственные и др.) может влиять на сорбционно-диффузионные процессы в волокнистой матрице и обеспечивать тем самым пролонгированное действие данных препаратов [1–3].

Как правило, волокна льна для медицины (в частности для ваты, нетканых материалов, в том числе и со специальными свойствами) получают пу-

---

*Дымникова Наталья Сергеевна* – кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории химии и технологии модифицированных волокнистых материалов, e-mail: nsd@isc-ras.ru

*Ерохина Екатерина Вячеславовна* – кандидат химических наук, младший научный сотрудник лаборатории химии и технологии модифицированных волокнистых материалов, e-mail: erochina2007@yandex.ru

*Морыганов Андрей Павлович* – доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией химии и технологии модифицированных волокнистых материалов, e-mail: arpm@isc-ras.ru

\* Автор, с которым следует вести переписку.

тем механохимической модификации относительно недорогого низкономерного сырья. Оно представляет собой хаотичную массу перепутанных волокон (в том числе из комлевой и верхушечной частей стебля) различной длины (5–400 мм) и тонины (линейная плотность 0.3–10.0 текс), с заостренностью до 30%, с повышенным содержанием природных примесей. Последние удаляют химической обработкой, от сорных примесей и костры избавляются путем механической очистки, предшествующей химической обработке. На этой же стадии изменяется и структура грубых технических волокон льна, происходит их распад на более мелкие комплексы и элементарные волокна, что в дальнейшем резко повышает эффективность воздействия химических реагентов на естественные спутники целлюлозы.

Интенсивность воздействий, лежащих в основе механических операций, должна выбираться с учетом условий последующей химической модификации, так как чрезмерная степень дробления волокон может резко увеличить границы раздела фаз «волокно-раствор», усилить действие химических реагентов на целлюлозу, снизить прочностные показатели волокон и значительно увеличить долю короткой фракции. Так, например, было показано, что в предварительно разрыхленной волокнистой массе содержание коротких волокон (до 10 мм) увеличивается после прочесывания на машине ЧМД-РВЛ на 13%, а после воздействия химических реагентов еще на 30% [4], что недопустимо в соответствии с ГОСТ 5556-81.

До настоящего времени механическая модификация льноволокна строилась по принципу комбинирования операций дробления комплексных пучков в продольном направлении и укорочения. На этом основаны известные технологии получения хлопкоподобного волокна (котонина) для текстильной промышленности [1]. Из существующих технологий механической подготовки высокоочищенного льноволокна для медицинских целей наиболее прогрессивным видом является технология, разработанная в ИХР РАН совместно с ООО «Рослан» (Иваново). Высокая степень очистки волокна, модифицированного по данной технологической схеме, позволила реализовать в промышленных условиях экологически чистую бесхлорную технологию получения медицинской льняной ваты [4, 5].

В настоящее время работы по созданию льноматериалов медицинского назначения получили новое направление. С целью устранения недостатков, присущих механохимически модифицированному льняному волокну (определенная дисперсность по длине и линейной плотности, физико-механическим показателям, наличию примесей), разрабатывается принципиально новый способ модифицирования – элементаризация лубяных волокон. Положенный в его основу принцип целенаправленного разрушения соединительных тканей под действием многократных циклических деформирующих нагрузок, обеспечивающих чередование операций «нагрузка – разгрузка – частичная релаксация», позволяет достичь полного разделения волокнистого пучка на отдельные составляющие его элементарные волокна, удаление из них неразработанных волокон, частиц костры, пыли [6]. Особенностью этого метода является возможность проведения, наряду с очисткой, одновременного фракционирования волокон по длине, что открывает возможность получения в рамках единой технологической схемы как высококачественного волокна для выработки текстильных материалов, сырья технического назначения (нетканые материалы, композиты и пр.), так и высокоочищенных волокон для изделий медицинского и санитарно-гигиенического назначения.

Проведенная оценка свойств элементаризованного льноволокна показала, что применяемый к нему новый вид воздействия вызывает удаление значительной части примесей (лигнина до 50% и пектинов до 34%) с одновременным повышением содержания целлюлозной составляющей (до 80.1%) без разрушения присущей льноволокну структуры [7, 8]. При этом уже на стадии механической обработки волокну придаются высокие сорбционные свойства. По нашему мнению, это открывает перспективы применения такого волокна в качестве основы для создания материалов медицинского и санитарно-гигиенического назначения.

Цель данной работы – оценка эффективности применения элементаризованного льняного волокна в качестве носителя для иммобилизации функциональных препаратов антимикробного действия.

### *Экспериментальная часть*

Объектами исследования служили техническое льняное волокно и полученное из него методом многократных циклических деформирующих нагрузок на лабораторной установке, принципиальная схема которой приведена на рисунке 1, элементаризованное волокно (№1).

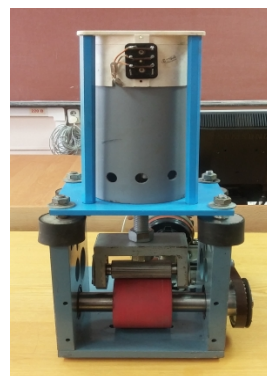
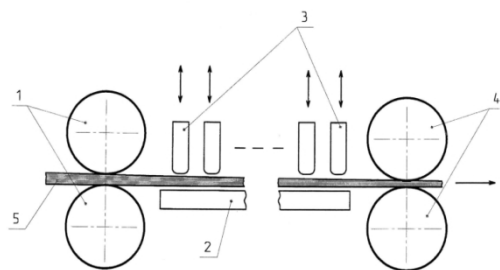


Рис. 1. Принципиальная схема и внешний вид устройства элементаризации льняных волокон (1 – питающая пара, 2 – неподвижная опора, 3 – нажимные элементы, 4 – выпускная пара, 5 – обрабатываемое волокно)

Образцом сравнения служило льноволокно, модифицированное на линии механической очистки и модификации короткого льноволокна (ЛЮКВ), включающей набор отечественного оборудования, установленной на ЗАО «Знаменский лен» (пос. Знаменское, Омской обл.) (№2). Волокна подвергали отбеливанию в среде пероксида водорода по разработанному в ИХР РАН методу [5]. Соотношение между объемом раствора и массой волокнистого материала составляло 10 : 1. Длительность обработки в изотермических условиях при температуре 100 °С составляла 60 мин.

У исходных и обработанных волокон по стандартным методам материаловедения [9, 10] определяли среднюю массодлину, линейную плотность, содержание волокон пуховой группы (менее 15 мм), содержание костры, а также показатели гигроскопичности (капиллярность и поглотительную способность) по ГОСТ 5556-81. Степень белизны определяли с помощью лейкометра фирмы Carl Zeiss JENA.

Для иммобилизации на отбеленных льняных волокнах использовали известные аттестованные антисептические препараты, разрешенные к применению в медицинской практике (ВФС 42-2845-97):

- «Хлоргексидин» (дихлорсодержащее производное бигуанида (Chlorhexidini bigluconas), лекарственный и антисептический препарат);
- «Повиаргол» (металл-полимерная композиция, содержащая высокодисперсное металлическое серебро 8 масс.%, стабилизированное низкомолекулярным поливинилпирролидоном).

Данные препараты обладают высокой антимикробной активностью в отношении грамотрицательных и грамположительных бактерий (включая, микобактерии туберкулеза), вирусов, грибов рода Кандида и т.д. Они способны предотвратить появление, остановить размножение и уничтожить вредоносные микроорганизмы. Наряду с широким спектром активности, достоинством данных препаратов является их высокая степень безопасности для человека, установленная на основании токсикологических исследований.

Для обеспечения равномерного контролируемого нанесения указанных препаратов на волокнистый материал отбеленное волокно обрабатывали при температуре 20 °С в течение 30 мин при жидкостном модуле 5 с последующим механическим отжимом 130% и высушивали на воздухе. Температурно-временные и концентрационные параметры технологического процесса получения биологически активных льноволокна были определены ранее проведенными исследованиями на основании контроля антимикробной активности волокон льна и нетканых материалов, изготовленных на их основе [11].

Количественный выход на волокно препаратов контролировали по изменению концентрации в растворе в процессе обработки с помощью метода УФ-спектрофотометрии. Оптические спектры поглощения растворов регистрировали в области 300–500 нм при комнатной температуре на спектрофотометре Agilent 8453 в кварцевых кюветах длиной 1 см. Исследуемый раствор разбавляли с таким расчетом, чтобы оптическая плотность при измерении укладывалась в диапазон от 0.2 до 1.5.

Антимикробную активность исследуемых льноволокна, обработанных препаратами «Хлоргексидин» и «Повиаргол», определяли на кафедре микробиологии Ивановской государственной медицинской академии путем оценки изменения коэффициентов светопропускания растворов (содержащих питательную среду для микробных культур) до и после внесения в них исследуемых образцов. Анализ проводили следующим образом – образцы волокон размещали в пробирки с мясопептонным бульоном с одновремен-

ным добавлением туда взвеси микробных тест-культур (*Escherichia coli* М-17, *Staphylococcus aureus*, *Candida albicans*) в концентрациях от 10<sup>3</sup> до 10<sup>9</sup> кл/мл. Подавление развития микробных культур, сопровождающееся ростом коэффициентов светопропускания, является свидетельством антимикробной активности тестируемых волокон. Вывод об антимикробной активности делали при отсутствии роста культур в пробирках с тестируемыми образцами с количеством внесенных клеток 10<sup>5</sup> кл/мл. Ингибирующее воздействие образца на микробную культуру рассчитывали по степени увеличения коэффициента светопропускания после внесения волокна в раствор, содержащий питательную среду и микробную культуру.

### Обсуждение результатов

Сравнительный анализ свойств исследуемых образцов (табл. 1) показывает, что новый метод, механически разрушая соединительные ткани комплексных льняных волокон, позволяет не только эффективно очистить его от механических примесей, но и получить модифицированное волокно, принципиально отличающееся от известных аналогов.

Линейная плотность, максимально приближенная к таковой у хлопка (0.1–0.18 текс), длина, лежащая в диапазоне «хлопковых» длин (7.5–55.0 мм) и практически полное отсутствие механических примесей дает полное основание применять к нему определение «хлопкоподобное». При этом прочностные качества волокна нового вида значительно превосходят таковые для хлопка (удельная разрывная нагрузка элементаризованного льноволокна составляет 31.7 сН/текс против 20–25 сН/текс для хлопка). Отличительной особенностью элементаризованного льноволокна (выгодно отличающей его от хлопка и модифицированного механическими способами льноволокна), играющей положительную роль в дальнейших процессах химической обработки, является его развитая капиллярно-пористая поверхность, о чем свидетельствуют его высокие сорбционные свойства (капиллярность и поглощательная способность). До настоящего времени даже самые прогрессивные технологии модификации льняного волокна не обеспечивали получение волокон с такими свойствами. Показатели, приведенные в таблице 1, свидетельствуют о том, что значительная часть волокон образца сравнения не распалась до элементарных, а представляет собой пусть и высокоочищенные, но, тем не менее, комплексные пучки.

Последующее отбеливание не оказало существенного негативного воздействия на физико-механические и геометрические свойства элементаризованного волокна, лишь незначительно (на 7.1 абс.%) повысив содержание в нем волокон пуховой группы с длиной до 15 мм.

Показатели качества отбеленного элементаризованного льноволокна, приведенные в таблице 1, свидетельствуют, что по гигроскопическим показателям и степени очистки от примесей оно несколько превосходит льноволокно, предварительно очищенное на линии ЛОКВ, и соответствует требованиям, предъявляемым к материалам медицинского назначения (ГОСТ 5556 «Вата медицинская» и ТУ 9393-001-04740840-2005 «Вата медицинская гигроскопическая хирургическая льносодержащая, стерильная и нестерильная ВХЛС-«ИХР»).

Таблица 1. Показатели качества льняного волокна, механически очищенного по различным технологическим схемам и отбеленного

Наименование показателей	Значения для волокон:				
	нативных, механически модифицированных		отбеленных		
	№ 1	№ 2	№ 1	№ 2	Требования ГОСТ 5556
Средняя массодлина, мм	21.8	48.0	21.0	30.5	–
Средняя линейная плотность, текс	0.19	3.2	0.17	2.8	–
Содержание волокон с длиной менее 15 мм, %	21.5	29.5	28.6	45.6	–
Содержание костры, %	0.4	3.0	–	2.4	0.7
Поглотительная способность, г/г волокна	16.0	–	19.1	19.0	19.0
Капиллярность, мм	65.0	–	90.0	86.0	67.0
Цвет волокна	серый	серый	белый	белый	–
Степень белизны, %	–	–	78.0	76.0	66.0

Примечание. 1 – элементаризованное волокно; 2 – волокно, модифицированное на линии механической очистки и модификации короткого льноволокна (ЛОКВ).

Высокие сорбционные свойства элементаризованного льноволокна дают основание прогнозировать его высокую активность в процессах иммобилизации лекарственных препаратов. Это подтвердилось при исследовании динамики процессов иммобилизации антисептических препаратов. На рисунке 2 приведены УФ спектры поглощения золей  $Ag^0$  в препарате «Повиаргол» при обработке исследуемых образцов льняных волокон, а на рисунке 3 – диаграмма изменения оптической плотности в препарате «Хлоргексидин».

Результаты УФ-спектрофотометрии на рисунке 2 показывают, что процесс снижения концентрации наночастиц серебра в присутствии элементаризованного льноволокна значительно активизируется. Аналогичная тенденция проявляется и при иммобилизации «Хлоргексидина» (рис. 3). Расчет количества препаратов, сорбированных льноволокнами, показал, что элементаризованное льноволокно содержит «Повиаргола» на 16.1%, а «Хлоргексидина» – на 20% больше, чем образец сравнения.

Данные, приведенные в таблице 2, позволяют оценить влияние волокон льна на грамотрицательные, грамположительные и грибковые культуры, где образец №1 – механически модифицированное волокно, а образец №2 – элементаризованное.

Коэффициенты светопропускания растворов тест-культур *E.coli*, *Staphylococcus aureus* и *Candida albicans* составляют соответственно 48,5, 13,0 и 37% (табл. 2). Незначительное снижение коэффициента светопропускания, наблюдаемое после выдерживания в этих растворах отбеленных льноволокна, свидетельствует об отсутствии их ингибирующего действия на данные тест-культуры. Напротив, выдерживание в растворах льноволокна, модифицированных препаратами с наночастицами серебра «Повиаргол» и биологически активным препаратом «Хлоргексидин», приводит к значительному эффекту увеличения коэффициентов светопропускания. Это указывает на то, что данные антимикробные волокна подавляют развитие тест-культур *E.coli*, *Staphylococcus aureus* и дрожжеподобного гриба *Candida albicans*. Причем элементаризованное льноволокно более эффективно подавляет рост микрофлоры, чем механически очищенное.

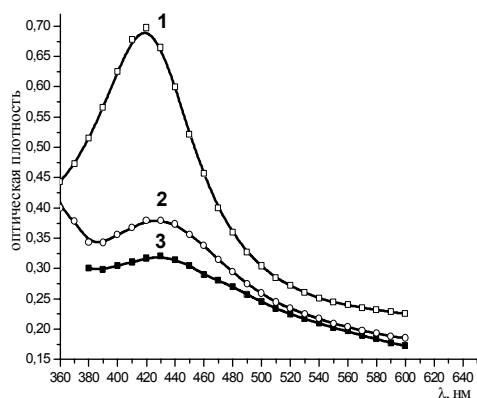


Рис. 2. Спектры поглощения золей  $Ag^0$  в препарате «Повиаргол»: 1 – до обработки волокон; 2, 3 – после обработки отбеленных волокон: 2 – механически модифицированного, 3 – элементаризованного

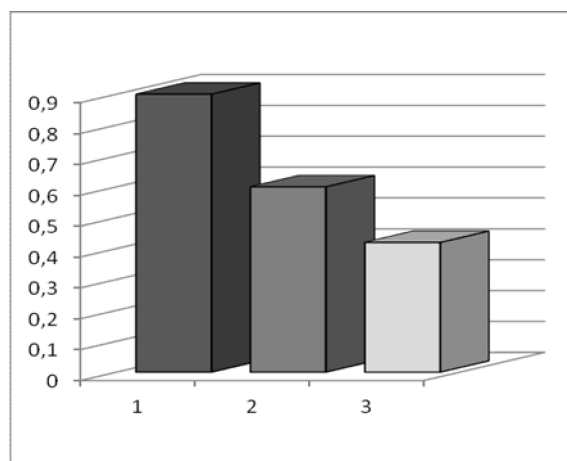


Рис. 3. Диаграмма изменения оптической плотности в препарате «Хлоргексидин»: 1 – до обработки волокон; после обработки 2 – механически модифицированного волокна; 3 – элементаризованного льноволокна

Таблица 2. Влияние антимикробных льноволокна на развитие микробных тест-культур

Образцы антимикробных льноволокна	Коэффициент светопропускания растворов тест-культур		
	<i>E. coli</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Candida albicans</i>
Рост культуры в отсутствии образца	48.5	13.0	37.0
Исходное отбеленное волокно	45.0	11.0	34.0
Образец №1, «Хлоргексидин»	81.5	75.0	80.0
Образец №2, «Хлоргексидин»	85.5	82.0	83.0
Образец №1, «Повиаргол»	76.5	77.0	79.5
Образец №2, «Повиаргол»	77.0	82.0	81.0

### **Выводы**

1. Показано, что отличительной особенностью нового вида льносырья – элементаризованного волокна, играющей положительную роль в дальнейших процессах химической обработки, является его развитая капиллярно-пористая поверхность, о чем свидетельствуют его высокая капиллярность и поглощательная способность.

2. Элементаризованное льноволокно проявляет высокую активность в процессах иммобилизации лекарственных препаратов «Повиаргол» и «Хлоргексидин».

3. Применением методов спектрофотометрии и микробиологии доказано, что элементаризованное льноволокно более эффективно подавляет рост микрофлоры, чем механически очищенное.

*Спектральные исследования выполнены на оборудовании центра коллективного пользования «Верхневолжский региональный центр физико-химических исследований».*

### **Список литературы**

1. Живетин В.В., Гинзбург Л.Н., Ольшанская О.М. Лен и его комплексное использование. М.: Информ-Знание, 2002. 394 с.
2. Галашина В.Н., Морыганов П.А., Дымникова Н.С. Биозащищенные льнонанокомпозиты – основа для изготовления высокотехнологичной «эко»-продукции // Российский химический журнал. 2011. №3. С. 28–34.
3. Галашина В.Н., Ерохина Е.В. Применение комплексообразующих соединений для целенаправленного регулирования разложения пероксида водорода в процессах обработки целлюлозосодержащих волокнистых материалов // Растворы в химии и технологии модифицирования полимерных материалов: новое в теории и практике. Иваново, 2014. С. 197–247.
4. Морыганов А.П., Галашина В.Н., Дымникова Н.С. Модификация льняных волокон: от исследований к реализации // Химические волокна. 2008. №3. С. 51–55.
5. Патент № 2525781 (РФ). Способ беления льняного волокна для изготовления материалов медицинского назначения / В.Н. Галашина, Е.В. Ерохина, Н.С. Дымникова, И.Е. Грушников, Т.Н. Богачкова, А.П. Морыганов / 2014.
6. Патент № 2497982 (РФ). Способ обработки комплексных лубяных волокон и устройство для его реализации / И.Ю. Ларин, Е.Р. Савинов / 2013.
7. Стокозенко В.Г., Морыганов А.П., Ларин И.Ю., Воронина Е.Р. Исследование влияния щелочной обработки на состав и свойства элементаризованного льноволокна // Химия растительного сырья. 2017. №2. С. 143–148.
8. Завадский А.Е., Стокозенко В.Г., Морыганов А.П., Ларин И.Ю. Анализ структурных изменений целлюлозной составляющей в процессе элементаризации волокон льна // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2017. Т. 60, вып. 6. С. 102–108.
9. Справочник по хлопкопрядению / под ред. Б.П. Широкова и др. М.: Легкая индустрия, 1985. 473 с.
10. Кукин Г.Н., Соловьев А.Н., Кобляков А.Н. Текстильное материаловедение (волокна и нити): учебник для вузов. М., 1989. 352 с.
11. Галашина В.Н., Морыганов П.А., Кузнецов О.Ю. Разработка композиционных препаратов для биоцидной отделки льносодержащих материалов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2006. №2. С. 65–67.

*Поступило в редакцию 16 октября 2017 г.*

*После переработки 1 декабря 2017 г.*

**Для цитирования:** Дымникова Н.С., Ерохина Е.В., Морыганов А.П. Исследование эффективности придания антимикробных свойств элементаризованному льняному волокну // Химия растительного сырья. 2018. №2. С. 191–197. DOI: 10.14258/jcrpm.2018023318

*Dymnikova N.S., Erokhina E.V.\**, Moryganov A.P. STUDY OF EFFICIENCY OF ENDOWING ANTIMICROBIC PROPERTIES TO ELEMENTARIZED LINEN FIBERS

*Institute of Solution Chemistry G.A. Krestov RAN, ul. Academicheskaya, 1, Ivanovo, 153045 (Russia),  
e-mail: erochina2007@yandex.ru*

The authors have carried out the comparison of antimicrobial activity of flax fibers obtained by different methods and doped with preparations of silver or quaternary ammonium salts. The elementarized flax fibers obtained by the method of recurring cyclic deforming loads, differ essentially from the known analogs (cottonized fibers) because of the almost full absence of mechanical impurities. An important feature of elementarized flax fiber is the developed capillary-porous surface, which is confirmed by its high sorption capacity. The average mass length linear density, content of fibers of the fluff group, content of flax shive and also the hygroscopicity indexes were determined by the standard methods of material science. The level of whiteness was measured with "JENA" leukometer by "Carl Zeiss". The quantitative output of antiseptic preparations ("Poviar-gole" and "Chlorhexidine") on fibers was controlled by the spectrophotometry method with the use of the spectrophotometer "Agilent 8453". The antimicrobial activity of the studied flax fibers was determined by estimating the change in coefficients of light-transmission of the solutions (containing nutrient medium for microbic cultures) before and after putting the studied samples into them. It is ascertained that elementarized flax fibers suppress the growth of microflora of the test cultures *E. coli*, *Staphylococcus aureus* and yeast-like fungus *Candida albicans* more effectively, than the mechanically cleaned ones.

*Keywords:* elementary flax fiber, cottonized flax fiber, antiseptic preparations, antimicrobial properties.

### References

1. Zhivetin V.V., Ginzburg L.N., Ol'shanskaia O.M. *Len i ego kompleksnoe ispol'zovanie*. [Flax and its integrated use]. Moscow, 2002. 394 p. (in Russ.).
2. Galashina V.N., Moryganov P.A., Dymnikova N.S. *Rossiiskii khimicheskii zhurnal*, 2011, no. 3, pp. 28–34. (in Russ.).
3. Galashina V.N., Erokhina E.V. *Rastvory v khimii i tekhnologii modifitsirovaniia polimernykh materialov: novoe v teorii i praktike*. [Solutions in chemistry and technology for the modification of polymeric materials: new in theory and practice]. Ivanovo, 2014, pp. 197–247. (in Russ.).
4. Moryganov A.P., Galashina V.N., Dymnikova N.S. *Khimicheskie volokna*, 2008, no. 3, pp. 51–55. (in Russ.).
5. Patent 2525781 (RU). 2014. (in Russ.).
6. Patent 2497982 (RU). 2013. (in Russ.).
7. Stokozenko V.G., Moryganov A.P., Larin I.Iu., Voronina E.R. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2017, no. 2, pp. 143–148. (in Russ.).
8. Zavadskii A.E., Stokozenko V.G., Moryganov A.P., Larin I.Iu. *Izvestiia vuzov. Khimiia i khimicheskaiia tekhnologiya*, 2017, vol. 60, no. 6, pp. 102–108. (in Russ.).
9. *Spravochnik po khlopkopriadeniiu* [Handbook of cotton spinning], ed. B.P. Shirokov. Moscow, 1985, 473 p. (in Russ.).
10. Kukin G.N., Solov'ev A.N., Kobliakov A.N. *Tekstil'noe materialovedenie (volokna i niti): uchebnik dlia vuzov*. [Textile Materials Science (Fibers and Filaments): A Textbook for Universities]. Moscow, 1989, 352 p. (in Russ.).
11. Galashina V.N., Moryganov P.A., Kuznetsov O.Iu. *Izvestiia vuzov. Tekhnologiya tekstil'noi promyshlennosti*, 2006, no. 2, pp. 65–67. (in Russ.).

Received October 16, 2017

Revised December 1, 2017

**For citing:** Dymnikova N.S., Erokhina E.V., Moryganov A.P. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2018, no. 2, pp. 191–197. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2018023318

---

\* Corresponding author.

