

**ЗАДАЧИ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ БИОМОДИФИЦИРОВАНИЯ
ОТХОДОВ ЛЬНОПЕРЕРАБОТКИ
ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КОРМОВЫХ ДОБАВОК***

**OBJECTIVES AND EFFICIENCY OF BIOMODIFICATION
OF FLAX PROCESSING WASTE
FOR PRODUCTION OF FEED ADDITIVES**

С.А. КОКШАРОВ, С.В. АЛЕЕВА, О.В. ЛЕПИЛОВА, А.Ю. МАТРОХИН

S.A. KOKSHAROV, S.V. ALEEVA, O.V. LEPILOVA, A.YU. MATROKHIN

(Институт химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук, г. Иваново,
Ивановский государственный политехнический университет)

(G.A. Krestov Institute of Solution Chemistry of the Russian Academy of Sciences, Ivanovo,
Ivanovo State Polytechnical University)

E-mail: sva@isc-ras.ru

Сопоставлены характеристики фракционного и полимерного состава образцов костры, пакли и вытряски нескольких льноперерабатывающих предприятий, а также химическое строение пектиновых веществ. В динамике воздействия полиферментной целлюлазной композиции прослежены взаимодополняющие эффекты развития поровой системы субстратов и проявления хемосорбционной активности полиуронидов с целью повышения белковосвязывающей способности фитопрепаратов в составе кормовых смесей для жвачных животных.

The fractional and polymer composition of flax shive, tow and flax waste obtained from several flax processing manufactures and also the chemical structure of pectin substances were compared. The mutually added effects of improving the pore system of substrates and the chemisorption activity of polyuronides were investigated in the dynamics of the interaction by polyenzyme cellulase composition in order to increase the protein binding capacity of phytopreparations in feed mixtures for ruminants.

Ключевые слова: побочные продукты льнопереработки, фракционный и полимерный состав, биомодификация, пектины, белковосвязывающая способность.

Keywords: by-products of flax processing, fractional and polymer composition, biomodification, pectins, protein binding capacity.

Настоящая работа выполнена в соответствии с приоритетами Комплексной программы развития биотехнологий в Российской Федерации до 2020 года [1] и продол-

жает комплекс исследований по обоснованию прорывных методов глубокой переработки льняного сырья с использованием ферментативного модифицирования, кото-

* Работа выполнена в рамках инновационного проекта по программе СТАРТ Фонда содействия инновациям (контракт 2662ГС2/24365 от 03.09.2018 г.) с использованием приборной базы ЦКП «Верхневолжский региональный центр физико-химических исследований».

рые реализованы в цикле усовершенствованных процессов текстильного производства [2...7], а также при создании востребованной наукоемкой продукции на основе льняных отходов, в частности, биополимерных композитов, сорбентов и фильтрационных материалов [8...10]. Перспективной сферой применения вторичных ресурсов льнопереработки является производство сельскохозяйственных кормовых добавок, функционализация которых могла бы способствовать преодолению трудностей в обеспечении эффективного протеинового питания жвачных животных [11...13] за счет сорбционного связывания кормового белка и его защиты от преждевременного расщепления [14].

С целью освоения разработки на предприятии ООО "Белпротект" (г. Владимир) проведен системный анализ входных характеристик нескольких разновидностей вторичного льняного сырья: костра, пакля и вытряска. Исследованы льняные материалы нескольких отечественных производителей льняной продукции: ООО "Корона" (г. Иваново), ООО "Тверская Агропромышленная Компания" (г. Тверь), ООО "Утор-

гошский Льнозавод" (Новгородская обл.), ООО "Льняная мануфактура Кузьмина" (Новосибирская обл.).

Костра является основным отходом обработки тресты на мяльно-трепальных агрегатах и преимущественно содержит расплющенные обломки древесной части стебля. Пакля – это отходы трепания в виде непрядомого волокна. Вытряской называются отходы с чесально-трясильных аппаратов, в которых доминирует смесь коротких волокон и пуха. Все виды льняного сырья представляют собой трехкомпонентную смесь волокнистых и древесных элементов, а также дисперсной фазы остатков паренхимных тканей льняного стебля – "пектиновая пыль".

В табл. 1 представлены данные о фракционном и полимерном составе льноматериалов. Со статистической точностью в расчет технологического процесса можно закладывать соотношение содержания древесной и волокнистой фракций в костре - 5,5 : 1; в вытряске - 1 : 4; в пакле 1 : 1,6. Содержание "пектиновой пыли" для всех видов сырья составляет 5...6 мас.%.

Т а б л и ц а 1

Субстрат	Фракция	Массовая доля, %	Содержание полимеров, мас.%				Содержание пектинов	
			целлюлоза	гликаны	пектин	лигнин	общее, мас.%	удельное, %
Костра	древесная	76 ± 1	50,4 ± 0,2	10,8 ± 0,4	5,5 ± 0,1	33,4 ± 0,4	6,7 ± 0,1	65 ± 2
	волокнистая	18 ± 2	52,6 ± 0,8	35,9 ± 0,9	4,6 ± 0,1	7,0 ± 0,2		12,5 ± 1,5
	дисперсная	4,5 ± 0,5	7,3 ± 0,3	63,0 ± 1,0	29 ± 1,0	0,5 ± 0,5		23,5 ± 2,5
Пакля	древесная	36 ± 1	49,6 ± 0,4	9,9 ± 0,6	6,8 ± 0,4	33,7 ± 0,3	6,4 ± 0,2	36 ± 1,5
	волокнистая	58 ± 2	53,2 ± 1,3	37,3 ± 1,3	4,2 ± 0,1	5,3 ± 0,3		36 ± 1,0
	дисперсная	5,5 ± 0,5	8 ± 0,5	59,0 ± 1,5	32 ± 1,5	0,5 ± 0,5		28 ± 1,0
Вытряска	древесная	14 ± 1	49,9 ± 0,7	12,2 ± 0,4	6,4 ± 0,3	32,1 ± 0,8	5,3 ± 0,2	16,5 ± 1,5
	волокнистая	79 ± 1	65,0 ± 1,6	24,0 ± 1,4	3,5 ± 0,6	8,0 ± 0,7		48,5 ± 2,5
	дисперсная	6,5 ± 0,5	5,5 ± 0,5	65,1 ± 0,9	31 ± 1,5	0		31 ± 8,0

Применительно к обеспечению защиты кормового белка все полимерные компоненты являются активными участниками сорбционного связывания протеинов. Целлюлоза и разветвленные гликаны способны обеспечивать межмолекулярное взаимодействие с протеинами фибриллярного строения по механизму физической адсорбции с образованием водородных связей. Во взаимодействии с амино- и иминогруппами белка наибольшую электроотрицательную

активность проявляют первичные ОН-группы у атома С6 пиранозного звена. Широкий набор реакционноспособных групп имеется в лигнине. Наиболее многочисленными являются первичные гидроксилы. Выраженными электрооакцепторными свойствами обладают карбонильные группы. Наиболее активной функциональной группировкой является фенольный гидроксил со свойствами сильного электронодонора. Важнейшим компонентом для сорбции бел-

ков являются пектиновые вещества, содержащиеся в основной цепи звенья галактуроновой кислоты, в которых атом С6 находится в состоянии карбоксильной группы, способной к химическому взаимодействию с функциональными группами белков.

В волокнистой фракции костры массовая доля пектина в 1,3 раза больше, чем в вытряске. Содержание гликанов также нарастает в 1,5 раза. Значения этих показателей в волокнистой фракции пакли ближе к уровню костры. Это логично, поскольку волокнистые компоненты костры и пакли выделяются на первой стадии обработки в мяльно-трепальных агрегатах, когда идет разрушение пограничного слоя между лубяными пучками и паренхимными тканями. Поэтому в волокнистые отходы попадают льняные комплексы, инкрустированные остатками тканей паренхимы. Вытряска – отходы последующей стадии чесания, и волокна несут на своей поверхности межклеточные связующие вещества лубяного пучка, причем в меньшем количестве и в ином химическом состоянии.

С учетом долевого содержания пектина в дисперсной фракции следует признать, что "пектиновая пыль" является значимым компонентом для всех разновидностей льноматериалов. Поскольку дополнительной химической подготовки "пектиновой пыли" не требуется, в качестве предварительной стадии обработки сырья можно рекомендовать операцию механического отсева дисперсной фракции с возвратом ее в биомодифицированную биомассу.

Высокое содержание пектинов в древесной фракции льноматериалов обусловлено присутствием значительного количества (более 60%) уронидных соединений, извлекаемых теплой (40°C) водой в течение 6...8 часов. Можно предполагать, что водорастворимая часть формируется в результате миграции олигомерных продуктов биодеструкции пектиновых веществ в периферийных слоях стебля в процессе многодневного лугового расстила льносоломы. Об этом свидетельствуют представленные на рис. 1 снимки поперечного среза слоя древесины льняного стебля в условиях росной мочки (а) и после сушки на льнозаводе [8] (б). В образце, взятом непосредственно с льнища и препарированном (отделение лубяной части) до испарения влаги, наблюдаем заполнение каналов ксилемы вязкой массой пектинового клея. В условиях вылеживания сырья на льнозаводах гель высыхает, образуя на стенках трахеальных элементов ксилемы пленку, которая может препятствовать эффективному воздействию модифицирующих ферментов.

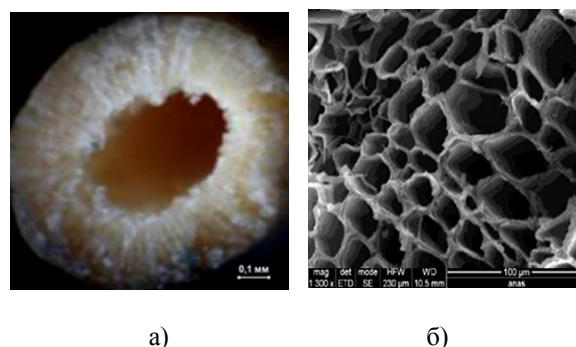


Рис. 1

Т а б л и ц а 2

Субстрат	Фракция	Долевое содержание форм галактуронатных звеньев пектинов, ед.		
		H-G	CH ₃ -ГК	Ca-ГК
Костра	древесная	0,22...0,27 (0,49...0,55)*	0,36...0,4 (0,4...0,46)*	0,35...0,38 (0,05...0,07)*
	волокнистая	0,20...0,22	0,57...0,59	0,21...0,22
	дисперсная	0,12...0,13	0,75...0,77	0,10...0,13
Пакля	древесная	0,22...0,24	0,40...0,42	0,32...0,34
	волокнистая	0,20...0,22	0,58...0,60	0,18...0,20
	дисперсная	0,11...0,13	0,74...0,76	0,12...0,14
Вытряска	древесная	0,23...0,24	0,39...0,41	0,33...0,38
	волокнистая	0,27...0,29	0,55...0,58	0,15...0,16
	дисперсная	0,16...0,17	0,71...0,75	0,12...0,13

П р и м е ч а н и е. * В скобках приведены значения для водорастворимой части пектиновых веществ.

В табл. 2 приведены результаты анализа химического строения пектинов по фракциям исследуемых льноматериалов. Долевое соотношение количества карбоксильных групп в незамещенных звеньях галактуроновой кислоты (Н-ГК), в метоксилированной (СН₃-ГК) и кальций-пектатной (Са-ГК) формах оценено по отработанной методике анализа пленок полиуронидов с применением ИК-спектроскопии [15].

В водорастворимой части пектиновых веществ древесного компонента костры содержание формы Са-ГК в 2,5...3,5 раза меньше, чем в полиуронидах пектиновой пыли, а доля незамещенных звеньев в 4...5 раз больше. Повышенное содержание звеньев Н-ГК, по-видимому, обусловлено протеканием каталитического разрыва гликозидной связи лишь на участках, содержащих цепочку незамещенных галактуронатных звеньев. Если вырезанный олигомерный фрагмент не имеет межцепных связей с кальций-пектатными звеньями других макромолекул, он приобретает диффузионную подвижность в условиях росяного увлажнения на льнище и мигрирует вместе с впитываемой влагой из периферийного слоя расщепляемой паренхимы во внутренние слои древесины.

Пектины в структуре волокнистых компонентов льняных материалов не подвергались воздействию мацерирующих ферментов на этапе лугового расстила, поскольку были защищены слоем паренхимы. Это объясняет повышенный в 2 раза уровень значений формы Н-ГК по сравнению с величиной показателя для дисперсной фракции в тех же субстратах.

где СВП – содержание структурно высвобожденного пектина (мг/г волокна); оценивается по доле пектиновых веществ, которые извлекаются раствором с определенной концентрацией щавелевой кислоты. S_{мезо} – площадь удельной поверхности мезопор (м²/г); оценивается по данным равновесной сорбции красителя метиленовый голубой (ГОСТ 13144–79).

При переходе от вытряски к костре и далее к пакле содержание формы Са-ГК в волокнистой фракции снижается. Это связано с тем, что на стадии трепания энергия механических воздействий концентрируется в лубяном пучке в первую очередь на участках с наименьшей суммарной энергией межцепных взаимодействий, то есть в зонах с наименьшей плотностью звеньев в форме Са-ГК. Такое состояние пектиновых веществ характерно для пограничной зоны между лубяным пучком и тканями паренхимы.

В интересах проекта наиболее активным является пектин волокнистого компонента льняной вытряски, поскольку содержание формы Н-ГК в 1,2...1,3 раза превышает величину показателя для волокнистой фракции отходов со стадии трепания. Пектин древесной фракции по содержанию формы Н-ГК уступает незначительно, но имеет более сшитую структуру.

Вместе с тем, необходимым условием проявления сорбционной способности пектинов является их структурное высвобождение из пространственной сетки углевод-белкового комплекса связующих веществ между фибриллами целлюлозы. Как показано ранее [9], для связывания сорбатов с крупным размером молекулы действие модифицирующих ферментов необходимо направить на развитие мезопоровых пространств для эффективного проявления механизмов физической адсорбции. В случае модифицирования ровницы чесаного льняного волокна влияние параметров пористости и доступности адсорбционных центров на уровень белковосвязывающей способности (А_Б, мг/г) описывается уравнением [16]:

$$A_B = 0,078 + 1,023 \cdot \text{СВП} + 0,265 \cdot S_{\text{мезо}}, R = 0,998, \quad (1)$$

Специфику биомодификации отходов льнопереработки исследовали с применением целлюлазной полиферментной композиции с рекомендованным [14] уровнем активности ферментов в растворе (ед./мл): эндо-1,4-β-глюканаза – 600; экзо-1,4-β-глюканаза – 1000; β-глюкозидаза – 50; эндо-1,4-β-D-ксиланаза – 500; экзо-1,4-β-D-ксилозидаза – 300. Перед биообработкой для всех

видов льняных субстратов проводился отсев дисперсной фракции "пектиновой пыли". Из льняной костры извлекали водорастворимую часть мигрирующих олигоуридов с последующим возвратом в биомодифицированный субстрат.

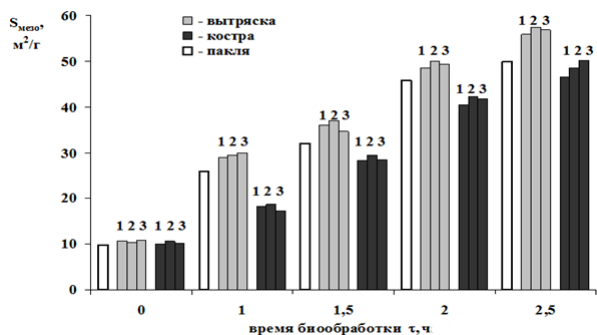


Рис. 2

На рис. 2 показано изменение удельной поверхности мезопоровых пространств льноматериалов в результате ферментативного модифицирования. Сгруппированные столбцы 1, 2 и 3 демонстрируют результаты обработки сырья разных производителей. Как видно, при обработке костры не удается создать такую же удельную поверхность мезопор, как при модифицировании угаров. Вместе с тем, для образцов вытряски темп нарастания пористости затухает, а на костре после первоначальной задержки нарастание величины $S_{\text{мезо}}$ прогрессивно увеличивается. Следовательно, в случае недостаточной сорбционной активности биомодифицированных препаратов костры есть возможность усиления результата за счет увеличения времени обработки.

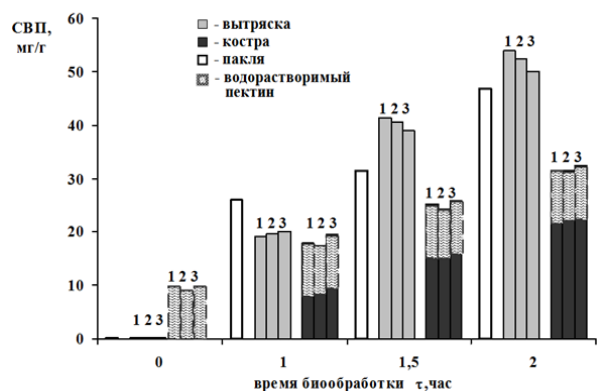


Рис. 3

На рис. 3 показана динамика структурного высвобождения пектина при биообработке льняного сырья. В исходных льноматериалах такая форма пектиновых веществ фиксируется лишь в следовых количествах. Нарастание показателя СВП в волокнистой фракции происходит намного эффективнее, чем в древесных компонентах. Низкий результат для образцов костры обусловлен двумя факторами: малым содержанием пектина после экстракции мигрирующих олигоуридов, а также высоким содержанием в его структуре формы Са-ГК, поскольку межцепные мостики сохраняют структурную связанность полиуронидов даже после биодеструкции их полимерного окружения в составе углевод-белкового комплекса связующих веществ.

Ситуация исправляется при возврате в систему предварительно извлеченной фракции водорастворимых олигоуридов. Биомодифицирование создает условия для диффузии пектинового геля в капиллярно-поровую систему костры, а благодаря адгезионной активности олигоуридов обеспечивается их иммобилизация на внутренней поверхности поровой системы, что делает костру вполне конкурентоспособным объектом для хемосорбционного связывания протеинов в сопоставлении с биомодифицированными угарами.

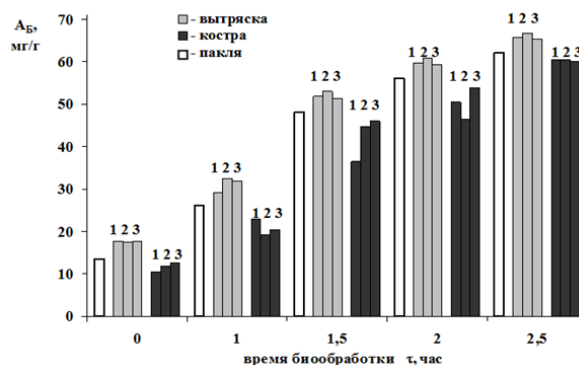


Рис. 4

На рис. 4 приведены результаты оценки белковосвязывающей способности биомодифицированных льноматериалов. В качестве модельного маркера использовали сывороточный альбумин. При проведении

совместной математической обработки экспериментальных данных, проиллюстриро-

ванных на рис. 1, 2 и 3, получена корреляционная зависимость:

$$A_B = 2,59 + 0,12 \cdot \text{СВП} + 1,15 \cdot S_{\text{мезо}}, R = 0,983. \quad (2)$$

Как видно, при включении в число объектов анализа материалов с высоким содержанием практически не набухающих частиц древесины сохраняется возможность статистической оценки значимости исследуемых факторов в совокупном результате сорбционного процесса. Заметим, что уравнение (1) описывает изменение сорбционного поведения чесаного льняного волокна с изначально развитой мезопоровой системой. В этом случае основные усилия были направлены на повышение активности полиуронидов. Описание расширенной группы объектов с использованием модели (2) выявило пути преодоления структурного несовершенства древесных частиц костры.

Зависимость (2) демонстрирует перспективность технологических шагов, которые предусматривают необходимость освобождения трахеальных каналов костры от мигрирующих пектинов, способных воспрепятствовать проникновению ферментов в макропоры древесной фракции, что обеспечивает эффективную модификацию субстрата и развитие внутренней сорбирующей поверхности. Это проявляется в возрастании значимости множителя при показателе $S_{\text{мезо}}$ по сравнению с уравнением (1). Использование активных форм полиуронидных соединений в составе возвращаемых фракций "пектиновой пыли" и мигрирующих пектинов обуславливает снижение зависимости результата от обеспеченности системы хемосорбционными центрами, что проявляется в снижении величины приложенного множителя при показателе СВП. Полученное значение коэффициента корреляции для уравнения (2) характеризует высокий уровень точности статистического ожидания от изменившегося взаимного влияния факторов в достижении целевого результата.

В Ы В О Д Ы

Таким образом, выявленная специфика развития поровой системы исследуемых льноматериалов и повышения доступности пектиновых веществ для адсорбционных взаимодействий с белковыми соединениями позволяет вносить обоснованные корректировки в технологический режим биохимического модифицирования отходов льнопереработки в виде костры, пакли или вытряски для получения по патенту RU 2666769 кормового средства, способствующего оптимизации протеинового питания жвачных животных.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. <http://innovation.gov.ru/sites/default/files/documents/2014/11052/2553.pdf>.
2. *Алеева С.В., Кокшаров С.А.* Химия и технология биокатализируемого наноконструирования льняных текстильных материалов // Российский химический журнал. – 2011. Т. 54, № 6. С. 46...58.
3. Патент RU 2366770. Способ ферментативно-пероксидной подготовки льняной ровницы к прядению / С.А. Кокшаров, С.В. Алеева, Г.В. Чистякова и др. // БИ № 25. Оpubл. 10.09.2009.
4. Патент RU 2366771. Способ ферментативно-пероксидной подготовки к прядению высоколигнифицированной льняной ровницы / С.А. Кокшаров, С.В. Алеева, О.В. Лепилова // БИ № 25. Оpubл. 10.09.2009.
5. Патент RU 2366769. Совмещенный способ подготовки к прядению и крашения льняного волокна / С.А. Кокшаров, С.В. Алеева, О.В. Лепилова и др. // БИ № 25. Оpubл. 10.09.2009.
6. Патент RU 2372430. Способ ферментативно-пероксидного беления льносодержащих тканей / С.А. Кокшаров, С.В. Алеева, О.А. Забыаева // БИ № 31. Оpubл. 10.11.2009.
7. Патент RU 2372429. Ферментативный способ заключительной умягчающей отделки льняных тканей / С.А. Кокшаров, С.В. Алеева // БИ № 31. Оpubл. 10.11.2009.
8. *Алеева С.В., Лепилова О.В., Кокшаров С.А.* Биохимические методы развития удельной поверх-

ности льняных материалов для получения сорбентов и демпфирующих материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, № 4. С.89...95.

9. Koksharov S.A., Aleeva S.V., Lepilova O.V. Bio-modification of flax fibrous materials for increase of sorption to organic compounds // International Journal of Chemical Engineering. – 2019, ID 4137593. P. 1...11.

10. Лепилова О.В., Алеева С.В., Кокишаров С.А. Роль пектиновых веществ в структурной организации гибридного сорбента льноволокно-монтмориллонит // Журнал прикладной химии. – 2018. Т. 91, №1. С. 98...103.

11. Харитонов Е.Л. Физиология и биохимия питания молочных коров. – Обнинск: Обнинск-Пресс, 2011.

12. Nutrient Requirements of Dairy Cattle / National Research Council // National Academy Press. Washington, D. C. 2001. P. 105-131. DOI: <https://doi.org/10.17226/9825>.

13. Грудина Н.В., Грудин Н.С., Быданова В.В. Кормовые добавки на основе полимеров // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2015, № 6. С. 47...49.

14. Патент RU 2666769. Способ получения кормового средства из растительного сырья с высоким содержанием одревесневшей клетчатки / Н.Е. Петухова, Р.В. Петухов, С.А. Кокшаров и др. // БИ № 26. Оpubl. 12.09.2018.

15. Алеева С.В., Чистякова Г.В., Кокишаров С.А. Спектроскопический анализ степени метоксилирования полиуронидных соединений льняного волокна // Изв. вузов. Химия и химическая технология. – 2009. Т. 52, № 10. С. 119...122.

16. Алеева С.В., Лепилова О.В., Кокишаров С.А. Технологические подходы к биомодификации структуры льняного волокна для получения сорбционных материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 1. С.319...324.

REFERENCES

1. <http://innovation.gov.ru/sites/default/files/documents/2014/11052/2553.pdf>.

2. Aleeva S.V., Koksharov S.A. Khimiya i tekhnologiya biokataliziruемого nanokonstruirovaniya l'nyanykh tekstil'nykh materialov // Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal. – 2011. Т. 54, № 6. С. 46...58.

3. Patent RU 2366770. Sposob fermentativno-peroksidnoy podgotovki l'nyanoy rovnitsy k pryadeniyu / S.A. Koksharov, S.V. Aleeva, G.V. Chistyakova i dr. // BI № 25. Opubl. 10.09.2009.

4. Patent RU 2366771. Sposob fermentativno-peroksidnoy podgotovki k pryadeniyu vysokolig-nifitsirovannoy l'nyanoy rovnitsy / S.A. Koksharov, S.V. Aleeva, O.V. Lepilova // BI № 25. Opubl. 10.09.2009.

5. Patent RU 2366769. Sovmeshchennyi sposob podgotovki k pryadeniyu i krasheniya l'nyanogo volokna / S.A. Koksharov, S.V. Aleeva, O.V. Lepilova i dr. // BI № 25. Opubl. 10.09.2009.

6. Patent RU 2372430. Sposob fermentativno-peroksidnogo beleniya l'nosoderzhashchikh tkaney / S.A. Koksharov, S.V. Aleeva, O.A. Zabyvaeva // BI № 31. Opubl. 10.11.2009.

7. Patent RU 2372429. Fermentativnyy sposob zaklyuchitel'noy umyagchayushchey otdelki l'nyanykh tkaney / S.A. Koksharov, S.V. Aleeva // BI № 31. Opubl. 10.11.2009.

8. Aleeva S.V., Lepilova O.V., Koksharov S.A. Biokhimicheskie metody razvitiya udel'noy poverkhnosti l'nyanykh materialov dlya polucheniya sorbentov i dempfiruyushchikh materialov // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2018, № 4. S.89...95.

9. Koksharov S.A., Aleeva S.V., Lepilova O.V. Bio-modification of flax fibrous materials for increase of sorption to organic compounds // International Journal of Chemical Engineering. – 2019, ID 4137593. P. 1...11.

10. Lepilova O.V., Aleeva S.V., Koksharov S.A. Rol' pektinovykh veshchestv v strukturnoy organizatsii gibridnogo sorbenta l'novolokno-montmorillonit // Zhurnal prikladnoy khimii. – 2018. Т. 91, №1. С. 98...103.

11. Kharitonov E.L. Fiziologiya i biokhimiya pitaniya molochnykh korov. – Obninsk: Obninsk-Press, 2011.

12. Nutrient Requirements of Dairy Cattle / National Research Council // National Academy Press. Washington, D. C. 2001. R. 105-131. DOI: <https://doi.org/10.17226/9825>.

13. Grudina N.V., Grudin N.S., Bydanova V.V. Kormovye dobavki na osnove polimerov // Doklady Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk. – 2015, № 6. С. 47...49.

14. Patent RU 2666769. Sposob polucheniya kormovogo sredstva iz rastitel'nogo syr'ya s vysokim soderzhaniem odrevesnevshy kletchatki / N.E. Petukhova, R.V. Petukhov, S.A. Koksharov i dr. // BI № 26. Opubl. 12.09.2018.

15. Aleeva S.V., Chistyakova G.V., Koksharov S.A. Spektroskopicheskiy analiz stepeni metoksi-lirovaniya poliuronidnykh soedineniy l'nyanogo volokna // Izv. vuzov. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya. – 2009. Т. 52, № 10. С. 119...122.

16. Aleeva S.V., Lepilova O.V., Koksharov S.A. Tekhnologicheskie podkhody k biomodifikatsii struktury l'nyanogo volokna dlya polucheniya sorbtionnykh materialov // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2017, № 1. С.319...324.

Рекомендована Ученым советом ИХР им. Г.А. Крестова РАН. Поступила 10.08.20.