

## Метод получения высокопротеиновых фитокомпозитов с использованием вторичных продуктов льнопереработки

С.В. Алеева<sup>a</sup>, О.В. Лепилова<sup>b</sup>, С.А. Кокшаров<sup>c</sup>

Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН, Российская Федерация

E-mail: <sup>a</sup>sva@isc-ras.ru, <sup>b</sup>lov@isc-ras.ru, <sup>c</sup>ksa@isc-ras.ru

**Аннотация.** Получено экспериментально-аналитическое обоснование механизма биохимического воздействия на отходы льнопереработки в форме костры, пакли и вытряски для достижения взаимодополняющих эффектов развития поровой структуры субстратов и повышения реакционной способности полиуронидов с вычленением вклада физической и химической адсорбции в изменение белковосвязывающих свойств композиционных льносодержащих препаратов с целью оптимизации протеинового питания жвачных животных.

**Ключевые слова:** костра, льняные угары, биомодификация, внутренняя удельная поверхность, доступность пектиновых веществ.

## Method for Processing of High-Protein Phytocomposites Using the Flax Processing Waste

S. Aleeva<sup>a</sup>, O. Lepilova<sup>b</sup>, S. Koksharov<sup>c</sup>

G.A. Krestov Institute of Solution Chemistry of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation

E-mail: <sup>a</sup>sva@isc-ras.ru, <sup>b</sup>lov@isc-ras.ru, <sup>c</sup>ksa@isc-ras.ru

**Annotation**The experimental and analytical study of the mechanism biochemical effects on flax processing waste such as flax shive, flax tow and tangled shaken flax fibers to achieve of the complementary effects the pore structure enhancement in substrates and increase the reactivity of polyuronides was obtained. The contribution of physical and chemical adsorption to change of protein binding properties of composite flax-containing preparations was singled out to optimize of protein nutrition of ruminants.

**Key words:** flax shive, flax waste, biomodification, internal specific surface area, accessibility of pectin substances.

Республика Беларусь входит в число мировых лидеров по объемам производства льноволокна. При этом учитывая последние тенденции ведения аграрной политики страны, активное развитие льняной отрасли является одним из приоритетных направлений в рамках Государственной программы Республики Беларусь на 2016–2020 годы (подпрограмма 1 «Развитие растениеводства, переработки и реализации продукции растениеводства»), реализация которой позволит обеспечить повышение урожайности льна-долгунца до 11 центнеров с гектара и объема выпуска льноволокна до 55 тыс. тонн в год [1].

Наращивание мощности производства льноволокнистых материалов обуславливает необходимость решения актуальных задач повышения полноты использования льняного сырья за счет эффективных методов применения вторичных продуктов его переработки в различных технологических сферах. Одним из мировых трендов развития данного направления является совершенствование технологий обработки льноволокнистых отходов с целью получения

современных биокомпозитных материалов для авто- и авиастроения, строительной индустрии, сельского хозяйства, прежде всего, кормопроизводства и т. д. [2–4]. В последнем случае методологические подходы получения композиционных кормовых продуктов призваны решать вопросы оптимизации протеинового питания, что особенно важно при организации сбалансированных рационов для крупного рогатого скота. В свете указанных приоритетов решаемые задачи настоящих исследований направлены на повышение полноты полезного использования льняного сырья с учетом ключевой проблемы обеспечения жвачных животных полноценным протеиновым питанием.

При обосновании цели исследования учтены сведения [5–7 и др.] о том, что в силу специфики анатомии и физиологии желудочно-кишечного тракта жвачных животных аминокислотная потребность их организма удовлетворяется за счет протеинов, распад которых происходит не на первичной стадии ферментации кормов в преджелудке (рубец), а при прохождении тонкого кишечника. В связи с этим актуален поиск путей создания композиционных

кормовых смесей с включением эффективных добавок, обеспечивающих «защиту» кормового белка от преждевременного расщепления. Одним из перспективных и экономически привлекательных путей решения задачи является использование высокомолекулярных полимеров на основе поликатионов или полианионов для обратимого связывания белковых веществ [8–10]. Большое разнообразие сорбционно активных полианионов содержится в структуре отделяемых остатков льняного стебля. Патентованный метод биомодифицирования [11] позволяет превратить их в эффективную фитодобавку при получении композита на основе белковых концентратов с недостаточным уровнем «транзитного» белка таких, например, как зерновая барда спиртового производства.

Предварительный научный задел в изучении закономерностей развития сорбционных свойств льноволокнистых материалов показал [12–14], что для связывания сорбатов с крупным размером молекулы действие модифицирующих ферментов необходимо направить на развитие мезопоровых пространств для эффективного проявления механизмов физической адсорбции, предупреждая при этом деструкцию пектиновых веществ, обладающих хемосорбционной способностью, и обеспечивая их структурное высвобождение из пространственной сетки углеводов-белкового комплекса связующих веществ между фибриллами целлюлозы. В случае модификации ровницы чесаного льняного волокна влияние параметров пористости и доступности адсорбционных центров на уровень белковосвязывающей способности (АБ, мг/г) описывается уравнением [12]

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

где **СВП** – содержание структурно высвобожденного пектина (мг/г волокна), оценивается по доле пектиновых веществ, которые извлекаются раствором

с определенной концентрацией щавелевой кислоты;  $S_{\text{мезо}}$  – площадь удельной поверхности мезопор ( $\text{м}^2/\text{г}$ ), оценивается по данным равновесной сорбции соответствующего молекулярного маркера (краситель метиленовый голубой, ГОСТ 13144-79).

Исследована специфика биомодификации трех видов отходов льнопереработки (костра, пакля и вытряска) композицией с рекомендованным [11] уровнем показателей активности ферментов в растворе (ед./мл):

- эндо-1,4-β-глюкоказа – 600;
- экзо-1,4-β-глюкоказа – 1000;
- β- глюкозидаза – 50;
- эндо-1,4-β-D-ксилаза – 500;
- экзо-1,4-β-D-ксилозидаза – 300.

Маломодульный режим биообработки (жидкостной модуль 5:1) с последующей сушкой предопределяет отсутствие экстракционных потерь продуктов ферментативного гидролиза.

Перед биообработкой для всех видов льняных субстратов проводился отсев дисперсной фракции «пектиновой пыли». Отличительной особенностью режима биомодификации препаратов льняной костры является проведение предварительного извлечения фракции водорастворимых олигомерных пектинов, мигрирующих в условиях лугового расстила из расщепляемых паренхимных тканей стебля в слой древесины. Для этого измельченную пробу заливали в реакторе теплой (40 °С) дистиллированной водой до величины гидромодуля  $M = 5:1$  и перемешивали в течение 6–8 часов. Жидкую фазу пектинового геля отделяли центрифугированием с целью последующего возврата в биомодифицированный субстрат на заключительной стадии обработки.

Представленные на рисунке 1 экспериментальные данные позволяют проследить динамику вскрытия мезопоровых пространств льняных субстратов в процессе биообработки. Пронумерованные столбцы демонстрируют результаты обработки сырья разных производителей.

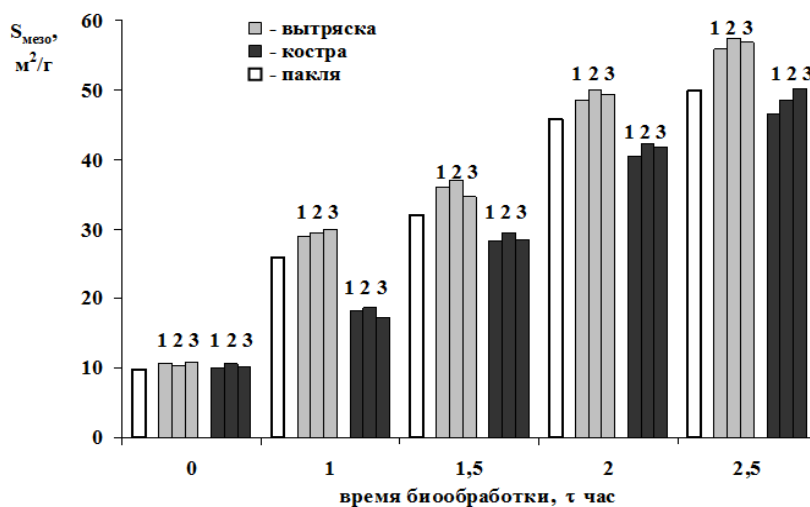


Рисунок 1 – Изменение площади удельной поверхности мезопоровых пространств ( $S_{\text{мезо}}$ ) исследуемых льноматериалов в результате ферментативной модификации

В начальный период времени скорость вскрытия внутреннего объема волокнистых угаров значительно превышает темп нарастания величины  $S_{мезо}$  для костры с преимущественным содержанием фракции древесины. Количественным критерием темпов роста показателя на начальном этапе биообработки является величина множителя при линейном члене зависимостей:

– вытряска

$$S_{мезо} = 9,441 + 24,431 \cdot \tau - 2,705 \cdot \tau^2, R = 0,974; \quad (2)$$

– пакля

$$S_{мезо} = 9,696 + 16,015 \cdot \tau - 0,245 \cdot \tau^2, R = 0,984; \quad (3)$$

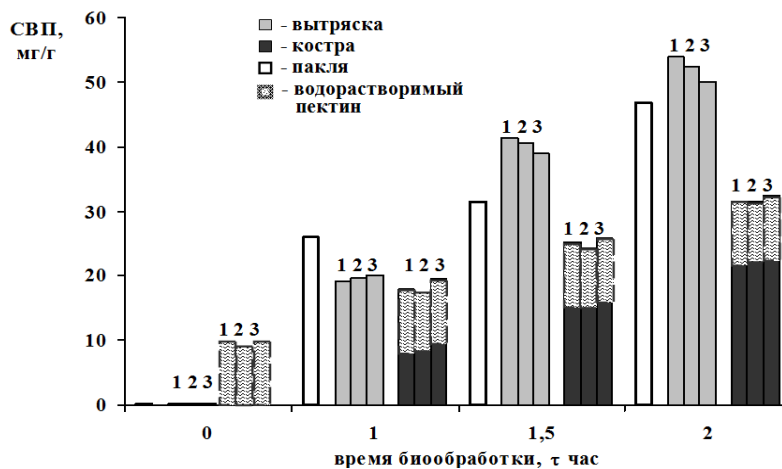
– костра

$$S_{мезо} = 10,310 + 11,038 \cdot \tau - 1,561 \cdot \tau^2, R = 0,988. \quad (4)$$

Видимой причиной задержки являются стерические трудности для диффузии глобул биокатализатора в макропорую систему трахеальных каналов ксилемы льна по сравнению с более доступными межволоконными пространствами волокнистых угаров. Для костры не удастся создать такую же удельную поверхность мезопор. Вместе с тем, сравнивая множитель при квадратичном члене уравнений (2) и (4), отмечаем, что при обработке образцов вытряски темп нарастания пористости

затухает, а на костре после первоначальной задержки скорость приращения величины  $S_{мезо}$  прогрессирующе возрастает. Следовательно, в случае недостаточной сорбционной активности биомодифицированных препаратов костры есть возможность повышения результата за счет увеличения продолжительности обработки.

На рисунке 2 продемонстрировано изменение доступности пектинов в результате биомодификации льняных субстратов. Заметим, что для исходных льноматериалов как в волокнистом, так и в древесном компонентах структурно высвобожденный пектин обнаруживается лишь в следовых количествах. Их накопление при биомодификации волокнистой фракции происходит намного эффективнее, чем в ксилеме льняного стебля. Низкий результат для образцов костры обусловлен двумя факторами: во-первых, в целом невысоким содержанием пектина в ксилеме после экстракции мигрирующих олигоуридов и, во-вторых, высоким содержанием в его структуре кальций-пектатных форм, обеспечивающих образование межцепных ковалентных связей, которые не позволяют макромолекулам полиуронида уходить в раствор даже после деструктирующего воздействия на окружающие их гликаны в структуре углевод-белковых комплексов.



**Рисунок 2 – Нарастание содержания структурно высвобожденных пектинов (СВП) в структуре исследуемых льноматериалов в процессе ферментативной модификации**

Ситуация исправляется при возврате в систему предварительно извлеченной фракции водорастворимых пектиновых веществ. Биомодификация 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 в сравнении с биомодифицированными льноволокнистыми материалами для хемосорбционного связывания протеинового связующего при получении кормовых фитокомпозиатов.

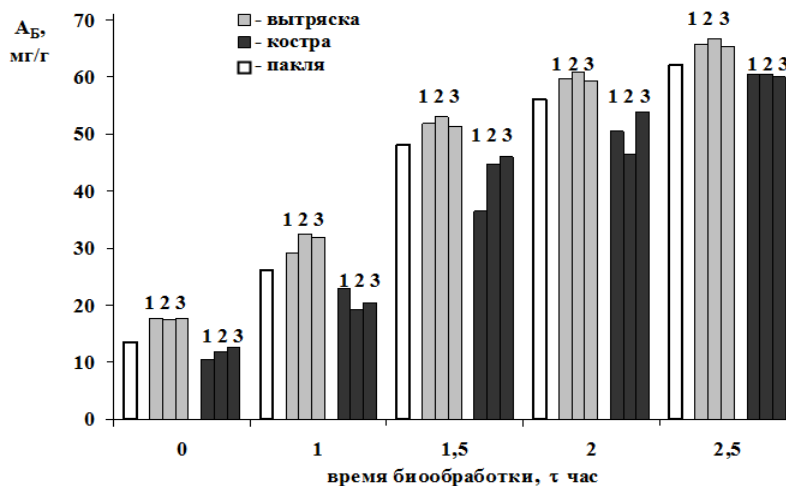
На рисунке 3 суммированы результаты тестовых экспериментов по определению белковосвязывающей способности льноматериалов, подвергнутых модификации с варьируемой продолжительностью ферментативной обработки. В качестве модельного маркера использовали сывороточный альбумин.

При проведении совместной математической обработки экспериментальных данных, проиллюстрированных на рисунках 1–3, получена корреляционная зависимость:

$$A_B = 2,590 + 0,120 \cdot \text{СВП} + 1,150 \cdot S_{мезо}, R = 0,983. \quad (5)$$

Как видно, при включении в число объектов корреляционного анализа льноматериалов с высоким содержанием частиц древесины, которые в исходном состоянии практически не набухают, сохраняется возможность статистической оценки значимости исследуемых факторов в совокупном результате

хемосорбционного процесса при условии, что модификация субстрата обеспечивает развитие той части внутреннего объема материала, который контролирует адсорбционное связывание белкового маркера.



**Рисунок 3 – Влияние длительности биообработки на белковосвязывающую способность модифицированных льняных угаров и костры**

При анализе сорбции с помощью уравнения (1) описывалось сорбционное поведение льняного волокна с изначально развитой мезопоровой системой, и основные усилия были направлены на повышение активности полиуронидов. Описание расширенной группы объектов с использованием модели (5) выявило пути преодоления структурного несовершенства в структуре костры.

Зависимость (5) демонстрирует перспективность технологических шагов для повышения белковосвязывающей способности льняной костры, которые предусматривают необходимость очистки трахеальных каналов от фракции мигрирующих пектинов, препятствующих проникновению ферментов в макропоры ксилемы для модификации ее стенок и развития внутренней сорбирующей поверхности. Это проявляется в возрастании значимости множителя при переменной  $S_{мезо}$  по сравнению с уравнением (1). Использование активных форм полиуронидных соединений в составе 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. Высокое значение коэффициента корреляции для уравнения (5) характеризует уровень точности статистического ожидания от изменившегося взаимного влияния факторов в достижении желаемого результата.

Вместе с тем следует отметить существенное снижение роли хемосорбционных взаимодействий по сравнению с модификацией ровницы чесаного льняного волокна. Очевидно, это связано с высоким

содержанием в структуре пектиновых веществ галактуронатных звеньев в метоксилированной форме, которая не проявляет химической активности в процессах сорбции [15, 16]. Значимость хемосорбции в связывании белковых веществ можно дополнительно повысить, если биохимическую модификацию осуществлять в присутствии фермента пектинэстеразы, который обеспечивает эффект биокатализируемого деметоксилирования пектина [17, С. 423].

В таблице сопоставлено изменение состояния пектиновых веществ в структуре льняных угаров и костры (до возврата в субстрат экстрагированных мигрирующих пектинов и пектиновой пыли) с данными сорбционной емкости в отношении белкового маркера. Оценка долевого соотношения галактуронатных звеньев в незамещенной (Н-ГК), метилгалактуронатной (СН<sub>3</sub>-ГК) и кальций-пектатной (Са-ГК) формах проведена методом ИК-спектроскопии пленок [18].

Представленные данные свидетельствуют, что наибольший эффект деметоксилирования (2–2,3 раза) достигнут в фитопрепаратах на основе льняной вытряски, где доминирует волокнистый компонент с максимальным содержанием высокометоксилированных полиуронидов. Воздействию пектинэстеразы в структуре костры препятствует более высокая степень сшивки полигалактуронатных цепей кальций-пектатными мостиками. Вместе с тем именно для костры зафиксирован наибольший прирост показателя АБ (1,4–1,48 раза). Это отражает важность дополнительной активации пектина в структуре льняной костры для повышения вероятности встречи

функциональных центров белка и пектина друг с другом и протекания акта химической адсорбции, которая осложнена стадией внутренней диффузии белкового маркера в поровой структуре биомодифицированного субстрата.

Исследования выполнены в рамках Государственного задания Института химии растворов им. Г. А. Крестова РАН (проект № 012012 60483) с использованием приборной базы ЦКП «Верхневолжский региональный центр физико-химических исследований».

**Таблица – Влияние добавки пектинэстеразы на эффективность биомодификации льняных материалов ( $\tau = 2$  ч)**

Субстрат	Соотношение форм галактуронатных звеньев в макромолекуле пектинов, ед.			Белковосвязывающая способность, Аб, мг/г
	Н-ГК	СН <sub>3</sub> -ГК	Са-ГК	
Костра	0,24 / 0,43	0,44 / 0,34	0,32 / 0,33	50,6 / 72,1
	0,26 / 0,44	0,43 / 0,36	0,31 / 0,30	46,6 / 68,4
	0,21 / 0,45	0,45 / 0,34	0,34 / 0,33	53,9 / 75,6
Вытряска	0,27 / 0,55	0,54 / 0,33	0,19 / 0,19	61,2 / 75,6
	0,26 / 0,52	0,55 / 0,26	0,19 / 0,19	60,9 / 75,2
	0,27 / 0,54	0,55 / 0,27	0,18 / 0,18	59,3 / 73,4
Пакля	0,22 / 0,45	0,54 / 0,33	0,24 / 0,22	59,9 / 77,9

Примечание: в числителе условной дроби представлены показатели при использовании базовой композиции целлюлаз, в знаменателе – композиции целлюлаз с пектинэстеразой.

## ВЫВОДЫ

1. Выявлена специфика биохимического воздействия на отходы льнопереработки в форме костры, пакли и вытряски для развития внутренней удельной поверхности исследуемых льноматериалов и повышения доступности пектиновых веществ в структуре растительного субстрата для адсорбционных взаимодействий с модельными белковыми соединениями в совокупности с возможностью целенаправленного изменения химического состояния полиуронидов.

2. Дифференцирован вклад физической и химической адсорбции в изменение белковосвязывающих свойств композиционных льносодержащих препаратов с целью оптимизации протеинового питания жвачных животных.

3. Обоснован состав полиферментной композиции и продолжительность биохимической модификации отходов льнопереработки в виде костры, пакли или вытряски по патенту RU 2666769.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шаршунов, В. А. Состояние льноводческой отрасли республики Беларусь и пути повышения ее эффективности / В. А. Шаршунов, А. С. Алексеенко, М. В. Цайц // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 2. – С. 267–271.
2. Kandemir, A. Characterisation of natural fibres for sustainable discontinuous fibre composite materials / A. Kandemir, T. R. Pozegic, I. Hamerton // Materials. – 2020. – Vol. 13, N 9. – P. 1–4.
3. Swanepoel, N. Impacts of feeding a flax-seed based feed supplement on productive and reproductive performance of early lactation multiparous Holstein cows / N. Swanepoel, P. H. Robinson // Animal Feed Science and Technology. – 2019. – Vol. 25 – P. 134–152.
4. Кокшаров, С. А. Инновации в получении армирующих материалов из льняного сырья для биополимерных композитов / С. А. Кокшаров // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX). – 2017. – № 1. – С. 161–167.
5. Максимюк, Н. Н. Физиология кормления животных / Н. Н. Максимюк, В. Г. Скопичев. – СПб. : Лань, 2004. – 256 с.
6. Харитонов, Е. Л. Физиология и биохимия питания молочных коров / Е. Л. Харитонов. – Обнинск : Изд-во Обнинск Пресс, 2011. – 377 с.
7. Nutrient Requirements of Dairy Cattle : seventh revised edition / National Research Council ; National Academy Press. – Washington, 2001. – 408 p.
8. Грудина, Н. В. Кормовые добавки на основе полимеров / Н. В. Грудина, Н. С. Грудин, В. В. Быданова // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2015. – № 6. – С. 47–49.
9. Rumen-bypass fatty acid salt and protein dietary supplement for ruminants : pat. US PCT (WO) № 1994.028739 / R. Jorgensen, K. R. Cuminge, M. S. Lajoic. – Publ. date 22.12.1994.
10. Protected feedstuffs and their production : pat. GB № 2113121A. / R.W. Lewes, O. J. Mc Makon, T. Tomkins. – Publ. date 1982.

11. Способ получения кормового средства из растительного сырья с высоким содержанием одревесневшей клетчатки : пат. № 2666769 RU / Н. Е. Петухова, Р. В. Петухов, С. А. Кокшаров, С. В. Алеева, О. В. Лепилова. – Опубл. 12.09.2018.
12. Алеева, С. В. Технологические подходы к биомодификации структуры льняного волокна для получения сорбционных материалов / С. В. Алеева, О. В. Лепилова, С. А. Кокшаров // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017. – № 1. – С. 319–324.
13. Алеева, С. В. Биохимические методы развития удельной поверхности льняных материалов для получения сорбентов и демпфирующих материалов / С. В. Алеева, О. В. Лепилова, С. А. Кокшаров // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018. – № 4. – С. 89–95.
14. Специфика изменения сорбционной способности льноволокна при регулируемой биокатализируемой деструкции нейтральных полиуглеводов / С. В. Алеева [и др.] // Известия вузов. Химия и химическая технология. – 2018. – Т. 61, № 2. – С. 80–85.
15. Влияние состояния карбоксильных групп пектина на сорбционное связывание ионов меди / С. В. Алеева [и др.] // Журнал физической химии. – 2018. – Т. 92, № 8. – С. 1308–1315.
16. Koksharov, S. A. Description of adsorption interactions of lead ions with functional groups of pectin-containing substances / S. A. Koksharov, S. V. Aleeva, O. V. Lepilova // *Molecular Liquids*. – 2019. – V. 283. – P. 606–616.
17. Кокшаров, С. А. Биохимическая модификация полисахаридов в процессах текстильного производства : коллективная монография / С. А. Кокшаров, С. В. Алеева // Научные основы химической технологии углеводов / отв. ред. А. Г. Захаров ; Российская акад. наук, Ин-т химии растворов. – Москва : URSS, 2008. – С. 401–523.
18. Алеева, С. В. Спектроскопический анализ степени метоксилирования полиуронидных соединений льняного волокна / С. В. Алеева, Г. В. Чистякова, С. А. Кокшаров // Известия вузов. Химия и химическая технология. – 2009. – Т. 52, № 10. – С. 119–122.

#### REFERENCES

1. Sharshunov, V. A. State of the flax industry in the Republic of Belarus and ways to improve its efficiency / V. A. Sharshunov, A. S. Alekseenko, M. V. Tsayts // *Bulletin of the Belarus State Agricultural Academy*. – 2019. – N 2. – P. 267–271.
2. Kandemir, A. Characterisation of natural fibres for sustainable discontinuous fibre composite materials / A. Kandemir, T. R. Pozegic, I. Hamerton // *Materials*. – 2020. – Vol. 13, N 9. – P. 1–4.
3. Swanepoel, N. Impacts of feeding a flax-seed based feed supplement on productive and reproductive performance of early lactation multiparous Holstein cows / N. Swanepoel, P. H. Robinson // *Animal Feed Science and Technology*. – 2019. – Vol.251. – P. 134–152.
4. Koksharov, S. A. Innovation in obtaining of reinforcing materials from flax raw materials to biopolymer composites / S. A. Koksharov // *Physics of fibrous materials: structure, properties, high-tech technologies and materials (SMARTEX)*. – 2017. – N 1. – P. 161–167.
5. Maksimyuk, N. N. Physiology of animal feeding / N. N. Maksimyuk, V. G. Skopichev. – Saint-Petersburg : Lan, 2004. – 256 p.
6. Kharitonov, E. L. Physiology and biochemistry of nutrition of dairy cows / E. L. Kharitonov. – Obninsk : Obninsk Press, 2011. – 377 p.
7. Nutrient Requirements of Dairy Cattle / National Research Council // National Academy Press. – Washington. – 2001. – P. 105–131.
8. Grudina, N. V. feed additives based on polymers / N. V. Grudina, N. S. Grudin, V. V. Bydanova // *Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. – 2015. – N 6. – P. 47–49.
9. US Patent PCT (WO) № 1994.028739. Rumen-bypass fatty acid salt and protein dietary supplement for ruminants / R. Jorgensen, K. R. Cuminge, M. S. Lajoic. – Date of access: 1994.
10. GB Patent № 2113121A. Protected feedstuffs and their production / R. W. Lewes, O. J. Mc Makon, T. Tomkins. – Date of access: 1982.
11. Patent 2666769 RU. Method for fodder producing from plant raw materials with high content of lignified fiber / N. E. Petukhova, R. V. Petukhov, S. A. Koksharov, S. V. Aleeva, O. V. Lepilova // *Inventions. Useful models. Official bulletin*. – 2018. – N 26.
12. Aleeva, S. V. Technological ways to biomodification of flax fiber structure for obtaining sorption materials / S. V. Aleeva, O. V. Lepilova, S. A. Koksharov // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti* – 2017. – N 1. – P. 319–324.
13. Aleeva, S. V. Biochemical methods of development of the specific surface of linen materials for receiving sorbents and damping composites / S. V. Aleeva, O. V. Lepilova, S. A. Koksharov // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. – 2018. – N 4. – P. 8–95.
14. Specificity of change in sorption capacity of flax fiber under regulable biocatalytical destruction of neutral carbohydrates / S. V. Aleeva [et al.] // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya*. – 2018. – Vol. 61. – N 2. – P. 80–85.

15. Effect of the state of carboxyl groups of pectin on the sorption binding of copper ions / S. V. Aleeva [et al.] // *Journal of physical chemistry* – 2018. – Vol. 92, N 8. – P. 1308–1315.
16. Koksharov, S. A. Description of adsorption inter-actions of lead ions with functional groups of pectin-containing substances / S. A. Koksharov, S. V. Aleeva, O. V. Lepilova // *Molecular Liquids*. –2019. – Vol. 283. – P. 606–616.
17. Koksharov, S. A. Biochemical modification of polysaccharides in textile production / S. A. Koksharov, S. V. Aleeva // *Scientific bases of chemical technology of carbohydrates*. Edited by A. G. Zakharov, Moscow : URSS, 2008. – P. 401–523.
18. Aleeva, S. V. Spectrophotometric method of methoxylation degree determination of polyuronide compounds of linen fiber / S. V. Aleeva, G. V. Chistyakova, S. A. Koksharov // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya*. – 2009. – Vol. 52, N 10. – P. 119–122.

## SPISOK LITERATURY

1. Sharshunov, V. A. Sostojanie l'novodcheskoj otrasli respubliki Belarus' i puti povysheniya ee jeffektivnosti / V. A. Sharshunov, A. S. Alekseenko, M. V. Cajc // *Vestnik Belorusskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii*. – 2019. – № 2. – S. 267–271.
2. Kandemir, A. Characterisation of natural fibres for sustainable discontinuous fibre composite materials / A. Kandemir, T. R. Pozegic, I. Hamerton // *Materials*. – 2020. – Vol 13, N 9. – P. 1–4.
3. Swanepoel, N. Impacts of feeding a flax-seed based feed supplement on productive and reproductive performance of early lactation multiparous Holstein cows / N. Swanepoel, P. H. Robinson // *Animal Feed Science and Technology*. – 2019. – Vol.251. – P. 134–152.
4. Koksharov, S. A. Innovacii v poluchenii armirujushhix materialov iz l'njano-go syr'ja dlja biopolimernyx kompozitov / S. A. Koksharov // *Fizika voloknistyx ma-terialov: struktura, svojstva, naukoemkie tehnologii i materialy (SMARTEX)*. – 2017. – № 1. – S. 161–167.
5. Maksimjuk, N. N. Fiziologija kormlenija zhivotnyh / N. N. Maksimjuk, V. G. Skopichev. – SPb. : Lan', 2004. – 256 s.
6. Haritonov, E. L. Fiziologija i biohimija pitaniya molochnyh korov / E. L. Ha-ritonov. – Obninsk : Izd-vo Obninsk Press, 2011. – 377 s.
7. Nutrient Requirements of Dairy Cattle : seventh revised edition / National Research Council ; National Academy Press. – Washington, 2001. – 408 r.
8. Grudina, N. V. Kormovye dobavki na osnove polimerov / N. V. Grudina, N. S. Grudin, V. V. Bydanova // *Doklady Rossijskoj akademii sel'skohozjajstvennyh nauk*. – 2015. – № 6. – S. 47–49.
9. Rumen-bypass fatty acid salt and protein dietary supplement for ruminants : pat. US RST (WO) № 1994.028739. / R. Jorgensen, K. R. Cuminge, M. S. Lajoic. – Publ. date 22.12.1994.
10. Protected feedstuffs and their production : pat. GB № 2113121A. / R.W. Lewes, O. J. Mc Makon, T. Tomkins. – Publ. date 1982.
11. Sposob poluchenija kormovogo sredstva iz rastitel'nogo syr'ja s vysokim sodержaniem odrevesnevshoj kletchatki : pat. № 2666769 RU. / N. E. Petuhova, R. V. Petuhov, S. A. Koksharov, S. V. Aleeva, O. V. Lepilova. – Opubl. 12.09.2018.
12. Aleeva, S. V. Tehnologicheskie podhody k biomodifikacii struktury l'nja-nogo volokna dlja poluchenija sorbcionnyh materialov / S. V. Aleeva, O. V. Lepilova, S. A. Koksharov // *Izvestija vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti*. – 2017. – № 1. – S. 319–324.
13. Aleeva, S. V. Biohimicheskie metody razvitija udel'noj poverhnosti l'nja-nyh materialov dlja poluchenija sorbentov i demfirujushhix materialov / S. V. Aleeva, O. V. Lepilova, S. A. Koksharov // *Izvestija vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti*. – 2018. – № 4. – S. 89–95.
14. Specifika izmeneniya sorbcionnoj sposobnosti l'novolokna pri reguliruemoj biokataliziruemoj destruccii nejtral'nyh poliuglevodov / S. V. Aleeva [i dr.] // *Izvestija vuzov. Himija i himicheskaja tehnologija*. – 2018. – T. 61, № 2. – S. 80–85.
15. Vlijanie sostojanija karboksil'nyh grupp pektina na sorbcionnoe svjazyva-nie ionov medi / S. V. Aleeva [i dr.] // *Zhurnal fizicheskoi himii*. – 2018. – T. 92, № 8. – S. 1308–1315.
16. Koksharov, S. A. Description of adsorption interactions of lead ions with function-al groups of pectin-containing substances / S. A. Koksharov, S. V. Aleeva, O. V. Lepilova // *Molecular Liquids*. –2019. – V. 283. – P. 606–616.
17. Koksharov, S. A. Biohimicheskaja modifikacija polisaharidov v processah tekstil'nogo proizvodstva : kollektivnaja monografija / S. A. Koksharov, S. V. Aleeva // *Nauchnye osnovy himicheskoi tehnologii uglevodov / otv. red. A. G. Zaharov ; Rossij-skaja akad. nauk, In-t himii rastvorov*. – Moskva : URSS, 2008. – S. 401–523.
18. Aleeva, S. V. Spektroskopicheskij analiz stepeni metoksilirovanija poli-uronidnyh soedinenij l'njanogo volokna / S. V. Aleeva, G. V. Chistjakova, S. A. Koksha-rov // *Izvestija vuzov. Himija i himicheskaja tehnologija*. – 2009. – T. 52, № 10. – S. 119–122.

Статья поступила в редакцию 16.05.2020