

УДК 633.521-027.31

**Д. Д. Захарчук, В. С. Болтовский**  
Белорусский государственный технологический университет  
**КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ЛЬНА С ПОЛУЧЕНИЕМ  
ИННОВАЦИОННОЙ ПРОДУКЦИИ (ОБЗОР)**

В статье выполнен обзор научно-технической литературы и патентных исследований по комплексной переработке волокон льна, отходов их переработки и семян льна с учетом их компонентного состава для получения новых функциональных продуктов. Лен – ценное однолетнее растение, которое благодаря своему уникальному составу и свойствам давно используется человеком. Практическое применение имеет 95–98% массы льна. На долю длинного волокна льна приходится только 20–30% стебля растения, остальная часть представляет собой отходы, которые используются нерационально, но обладают потенциалом для дальнейшей химической переработки и получения целлюлозы,  $\alpha$ -целлюлозы и других продуктов и могут быть применены в различных отраслях промышленности. Это позволит увеличить эффективность использования короткого волокна льна и создать новые возможности для получения продукта с высокой добавленной стоимостью. Семена льна содержат масло, лигнаны, белки и пептиды, витамин Е, клетчатку и полисахариды, которые востребованы при получении функциональных продуктов питания, лекарственных средств, пищевых добавок, кормов для животных и других видов продукции, что позволяет увеличить эффективность использования этой культуры.

Лен является ежегодно возобновляемым отечественным и экологически чистым сырьевым ресурсом, что делает его востребованным материалом для различных отраслей промышленности. Благодаря росту спроса на льняное волокно в мире в Республике Беларусь, которая является одним из крупнейших производителей льна, проводятся активные мероприятия по увеличению посевных площадей под лен и расширению производственной базы. Анализ литературных источников показал, что комплексное использование семян и волокон льна для получения инновационных продуктов является актуальным и перспективным направлением.

**Ключевые слова:** лен-долгунец, масличный лен, волокно льна, целлюлоза,  $\alpha$ -целлюлоза, семена льна, льняное масло, растительный белок, камедь.

**Для цитирования:** Захарчук Д. Д., Болтовский В. С. Комплексная переработка льна с получением инновационной продукции (обзор) // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2024. № 2 (283). С. 77–91.

DOI: 10.52065/2520-2669-2024-283-10.

**D. D. Zakharchuk, V. S. Boltovsky**  
Belarusian State Technological University  
**COMPLEX PROCESSING OF FLAX WITH THE PRODUCTION  
OF INNOVATIVE PRODUCTS (REVIEW)**

The article provides a review of scientific and technical literature and patent research on the complex processing of flax fibers, waste from their processing and flax seeds, taking into account their component composition to obtain new functional products. Flax is a valuable annual plant, which, due to its unique composition and properties, has been used by humans for a long time. 95–98% of the flax weight has a practical application. The share of long flax fiber accounts for only 20–30% of the plant stem, the rest is waste, which is used irrationally, but has the potential for further chemical processing and production of cellulose,  $\alpha$ -cellulose and other products, and can be used in various industries. This will increase the efficiency of using short flax fiber and create new opportunities for obtaining a product with high added value. Flax seeds contain oil, lignans, proteins and peptides, vitamin E, fiber and polysaccharides, which are in demand in the production of functional foods, medicines, food additives, animal feed and other types of products, which allows to increase the efficiency of using this crop.

Flax is an annually renewable domestic and environmentally friendly raw material resource, which makes it a sought-after material for various industries. Due to the growing demand for flax fiber in the world, the Republic of Belarus, which is one of the largest flax producers, is actively taking measures to increase the acreage for flax and expand the production base. The analysis of literary sources has shown that the complex use of flax seeds and fibers for the production of innovative products is an urgent and promising direction.

**Keywords:** flax, oilseed flax, flax fiber, cellulose,  $\alpha$ -cellulose, flax seeds, linseed oil, vegetable protein, gum.

**For citation:** Zakharchuk D. D., Boltovsky V. S. Complex processing of flax with the production of innovative products (review). *Proceedings of BSTU, issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology*, 2024, no. 2 (283), pp. 77–91 (In Russian).

DOI: 10.52065/2520-2669-2024-283-10.

**Введение.** Универсальный состав льна, культивируемого во многих странах мира, представляет интерес для использования и переработки. Волокно, полученное из стеблей льна, является важным сырьем для текстильной промышленности. Его можно прясть в чистом виде или смешивать с другими волокнами. Льняное волокно отличается от волокон животного и синтетического происхождения своим уникальным составом, обладающим рядом преимуществ и делающим его привлекательным материалом для производства разнообразных продуктов, в том числе полученных в результате химической обработки. Отходы производства льноволокна являются ценным ресурсом для переработки. Обработанные короткие волокна можно использовать для производства смешанной пряжи с шерстью, шелком, хлопком, химическими волокнами и т. д. Отходы льна являются высококачественным сырьем для изготовления плит и высококачественной бумаги. Благодаря высокому содержанию целлюлозы и низкому содержанию лигнина лен может быть использован для получения целлюлозы, включая  $\alpha$ -целлюлозу, которая находит широкое применение. Семена льна содержат большое количество разнообразных питательных веществ: масло, белки и пептиды, полисахариды, пищевые волокна, омега-3 жирные кислоты, лигнаны, а также витамины и минералы, что обуславливает его применение в пищевой промышленности. Таким образом, разработка новых способов комплексной переработки льна для получения востребованной в различных отраслях промышленности продукции является актуальной задачей.

**Основная часть.** Лен – ценное однолетнее растение, которое благодаря своему уникальному составу и свойствам давно используется человеком. Области применения льна продолжают неуклонно расширяться благодаря постоянному совершенствованию методов возделывания и внедрения передовых технологий его переработки. Это не только позволяет повысить урожайность и качество льняного волокна и семян, но и открывает широкие возможности для получения новых востребованных продуктов. На 2018 г. посевные площади льна-долгунца во всем мире составили 240 тыс. га [1], в то время как на масличный лен было отведено 2,31 млн га [2].

Выращиваемый лен (*Linum usitatissimum* L.) представлен, главным образом, двумя основными видами: лен-долгунец и лен масличный. Существует пять подвидов льна: лен-долгунец, лен-межеумок, лен-кудряш, лен крупносемянный и лен растрескивающийся, или лен-прыгунец [3, 4].

*Лен масличный* включает два подвида льна культурного – лен-кудряш и лен-межеумок. По сравнению со льном-долгунцом лен масличный требует большего количества солнечного света и меньшего количества влаги и главным образом выращивается для получения льняного масла. Ведущими мировыми производителями масличного льна являются Канада, Аргентина, США, Индия, Россия и др., где сосредоточены его основные посевные площади. В странах СНГ он занимает около 7–10% общемировых посевов. В общей структуре посевов льна в мире он абсолютно преобладает над льном-долгунцом, занимая около 84% [5]. В Беларуси посевные площади масличного льна на 2019 г. составили 2200 га [6].

Содержание волокна в тресте льна масличного составляет 19–24%, однако исследования показали [7], что получение длинного волокна из тресты льна масличного возможно, но его максимальный выход не превышает 11%.

*Лен-долгунец* – яровая культура, выращиваемая для получения волокна преимущественно во влажном и теплом климате. Его основная продуктивная часть – стебель, высота которого 70–125 см и более. Он содержит от 20 до 30% волокна, ради которого и возделывается эта культура. Важнейшим признаком качества льна-долгунца является диаметр стебля. Чем выше стебель и чем длиннее его техническая часть, тем больше длинного волокна содержится в нем. По этому признаку различают лен тонкостебельный (диаметр стебля 0,8–1,2 мм), средний (1,3–2,0 мм) и толкостебельный (от 2,1 мм). Из тонких стеблей получается волокно высокого качества [8, 9].

Традиционно лен-долгунец выращивается в более чем 20 странах мира. Наиболее крупными его производителями являются Франция, Бельгия, Беларусь, Россия, Китай, Украина, Египет и др. [1].

Основное количество льна-долгунца используется для производства тканей. В 2020 г. мировыми производителями льняных тканей были: Китай (27,2 тыс. т), Франция (7,7 тыс. т), Россия (6,3 тыс. т), Беларусь (5,8 тыс. т.), Германия (3,6 тыс. т) и другие страны (21,6 тыс. т) [5].

Лен-долгунец является одной из основных технических культур в Республике Беларусь. Волокно (длинное и короткое), семена и костра используются в качестве сырья для промышленности.

*Льняное волокно* – это один из основных видов сырья для текстильной промышленности. Спрос на льняные ткани в мире растет. Лен может использоваться не только для пошива комфортной и экологичной одежды, но и в пищевой промышленности, для производства топливных брикетов или

пеллет, утеплителя, медицинской ваты, бинтов. Низкосортное короткое волокно используется для производства нетканых материалов, которые имеют широкое применение, а также бумаги. Отходы переработки льна при производстве льняного масла (шрот) являются питательным кормом для животных. Лен, безусловно, важное сырье для переработки. Организация Объединенных Наций выразила мнение, что лен является не просто ценным материалом, а, по сути, материалом XXI века, что подчеркивает его значимость и перспективность для современного мира [10].

Посевные площади льна-долгунца в Республике Беларусь представлены в табл. 1 [11].

Таблица 1  
Посевная площадь льна-долгунца в Беларуси,  
тыс. га

Область	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Брестская	6,2	6,2	6,4
Витебская	11,7	12,1	11,7
Гомельская	4,3	4,3	4,8
Гродненская	6,4	6,8	7,0
Минская	6,5	8,2	8,6
Могилевская	7,2	7,3	7,3
Общие данные	42,3	44,8	45,7

В Республике Беларусь в настоящее время работают 24 льнозавода и предприятия концерна «Беллегрпром», в том числе Оршанский льнокомбинат [12]. В республике имеется более 100 льноводческих сельскохозяйственных организаций. Важную роль играют 5 экспортно-сортировочных баз, на которых волокно подвергается предпродажной сортировке и подготовке. Эти учреждения в основном выполняют экспортную программу. Беларусь занимает одно из лидирующих мест по объемам производства льна в мире [1, 5, 10].

В среднем в Беларуси ежегодно вырабатывается примерно 35 тыс. т льноволокна [11].

Применяемые в настоящее время технические средства и организуемые на их основе производственные процессы не обеспечивают в достаточной степени энерго-, ресурсо- и почвосбережения, сохранности выращенной продукции. В производстве льна только по технологическим причинам теряется до 30% волокна и до 50% семян [13].

Практическое применение имеет 95–98% массы льна. Интерес представляет не только использование семян льна и длинного волокна, но и переработка короткого льняного волокна и костры в технические материалы [14, 15]. Из *отходов льняного производства* (костра, отходы трепания) изготавливают [16, 17] изоляционные и конструкционные материалы, специальные текстильные материалы (биоразлагающиеся, нетканые и др.) и пластиковые изделия на основе полимеров,

заполненных лигноцеллюлозными частицами. Благодаря высокому содержанию  $\alpha$ -целлюлозы льноволокно применяется в производстве специальной высококачественной бумаги (сигаретная, гигиенические бумажные изделия). Из вторичных ресурсов льносырья создаются сорбенты для очистки вин, масел, воды и воздуха. Увеличение объемов использования льноволокна для применения в различных отраслях промышленности будет способствовать сокращению вырубки лесов, защите окружающей среды. Кроме того, культивирование льна позволяет в определенной мере решить проблему восстановления плодородия почв.

В современных условиях назрела необходимость переработки ежегодно возобновляемого льняного сырья для получения в промышленных условиях целлюлозы с высоким содержанием  $\alpha$ -целлюлозы. Это обусловлено проблемой нехватки качественного и недорогого сырья и востребованностью  $\alpha$ -целлюлозы. Наиболее известным и потребляемым сырьем для производства целлюлозы является древесина хвойных, лиственных пород, а также травянистое растение – хлопок. Однако при постоянном использовании древесных растений для получения целлюлозных продуктов увеличивается ущерб, наносимый окружающей среде, а возможности использования хлопка ограничены вследствие необходимости его импорта и высокой стоимости.

Надмолекулярная структура  $\alpha$ -целлюлозы способствует повышению прочности и долговечности готового продукта. Вырабатывается  $\alpha$ -целлюлоза высокого качества из хлопка, она также может быть получена из древесной целлюлозы в процессе варки и отбеливания и служит основой для производства высококачественной бумажной продукции. Кроме того,  $\alpha$ -целлюлоза является востребованным сырьем в текстильном производстве – перерабатывается в целлюлозные волокна для получения путем химической обработки эфиров целлюлозы и производства таких тканей, как вискоза. Целлюлозный текстиль является экологически безопасным в отличие от синтетических волокон, обеспечивая мягкость и воздухопроницаемость. Также  $\alpha$ -целлюлоза и ее производные являются неотъемлемым компонентом в производстве специальных химических веществ – пороха, гидроксипропилметилцеллюлозы (НРМС) и этилцеллюлозы, которые широко используются в военной, строительной, фармацевтической, пищевой и других отраслях промышленности.

В настоящее время существует проблема импорта не только хлопка, но и низкокачественного хлопкового линта, который поступает из других стран. Этот материал отличается значительным содержанием примесей, что ведет к неудовлетворительным качественным показателям и снижению

объема выпуска целлюлозных продуктов. Качественный импортный хлопок имеет высокую цену. Поэтому одной из ключевых задач становится поиск альтернативы хлопку в виде дешевой и высококачественной отечественной растительной биомассы для производства целлюлозы. Известно, что в качестве такого сырья могут использоваться различные однолетние растения, включая лен. При переработке отходов льняного производства можно извлечь целлюлозу в количестве, превышающем уровень, который обеспечивается быстрорастущими деревьями [18, 19].

Особый интерес представляет использование побочных продуктов льнопереработки для получения целлюлозы. Отходы переработки льна (короткие волокна, очесы и пр.) обладают низкой стоимостью по сравнению с длиноволокнистым льном при сохранении его полезных характеристик, но при этом используются крайне нерационально. В то же время после тщательной очистки эти материалы могут быть использованы как сырье для производства различных видов продукции, в частности эфиров целлюлозы, которые находят применение в создании вискозного шелка, целлулоида, разнообразных бумажных изделий, взрывчатых веществ и многих других продуктов, а также в производстве нетканых материалов, технических и медицинских изделий [20].

Химический состав основных по количеству составу компонентов некоторых видов целлюлозного сырья, применяемого или потенциально пригодного для получения целлюлозы, приведен в табл. 2 [21].

Льняное и пеньковое волокно по содержанию целлюлозы занимают промежуточное положение между хлопком, хлопковым линтом и древесиной. Благодаря высокому содержанию целлюлозы и небольшому количеству лигнина эти материалы представляют собой интерес для переработки в целлюлозу и производства качественной продукции.

Способы получения целлюлозы из льняного сырья, применяемые для ее получения из древесного сырья, требуют достаточно больших материальных и энергетических затрат. Промышленное получение целлюлозы является материалоемким процессом,

требующим значительных затрат реагентов, а также достаточно больших материальных ресурсов для очистки загрязненных сточных вод.

В этой связи особую актуальность приобретает необходимость разработки новых экологически чистых и экономичных способов получения целлюлозы. Использование отечественного дешевого ежегодно возобновляемого растительного сырья может стать дополнительным источником для целлюлозно-бумажной отрасли промышленности, что в свою очередь будет способствовать решению проблемы импортозамещения.

Поиск альтернативных способов получения целлюлозы из однолетних растений, в том числе из льняного волокна, является актуальной задачей [23, 24].

Помимо использования льняного волокна, несомненный интерес также представляют семена льна, являющиеся источником получения не только льняного масла, но и других уникальных полезных для здоровья человека продуктов.

В последние годы, в связи с возрастающей потребностью населения в здоровом образе жизни и качестве питания, повышается необходимость в уникальной питательной ценности семян льна. Семена льна содержат комплекс полезных веществ, включая масло, лигнаны, белок и пептиды, витамин Е, полисахариды и клетчатку, которые находят применение в различных отраслях, при создании функциональных продуктов питания, лекарственных препаратов, пищевых добавок и кормов для животных. В опубликованных работах по исследованию и клиническим испытаниям применения семян льна показана их высокая польза для человеческого организма [25–29].

Разнообразие биохимического состава семян льна свидетельствует о целесообразности осуществления их глубокой переработки и получения широкого ассортимента полезной продукции. Производство полисахаридных комплексов и белковых веществ, биологически активных лигнанов позволит получать продукты с высокой добавленной стоимостью и увеличить эффективность использования этой культуры.

В табл. 3 приведен состав различных растительных семян.

Таблица 2

Компонентный состав лигноцеллюлозного сырья

Растительный материал	Массовая доля, %		
	Целлюлоза	Лигнин	Зола
Льняное волокно	70,1–73,9	4,4–5,8	1,7–2,3
Пеньковое волокно	74–81	9,5	5,8
Древесина	48–58	18,6–26,0	5,5
Хлопок	93–94	0,07	0,9–1,3
Хлопковый линт [22]	87,5	5,9	1,5

Таблица 3

## Состав различных растительных семян

Культура	Содержание, %			Источник
	Белки	Жиры	Клетчатка	
Пшеница	15,0–18,0	2,0–2,5	2,0	[30]
Рис	7,5	2,6	9,7	[31]
Горох	20,5	2,0	11,2	[31]
Лен	21,0	41,0	28,0	[32]
Соя	38,0–42,0	17,4	1,8–4,9	[33]
Рапс	20,0–34,0	40,0–52,0	5,8–15,0	[33]
Подсолнечник	17,5–32,2	42,0–54,0	2,0–5,0	[34]

Из таблицы видно, что семена льна по содержанию белка близки к бобовым, незначительно уступая только семенам сои. По содержанию масла лен находится на одном уровне с наиболее распространенными масличными культурами (подсолнечник и рапс). Кроме того, лен является самым богатым источником клетчатки среди них. Разнообразие биохимического состава семян льна представлено на рисунке.



Биохимический состав семян льна

Одним из основных направлений переработки семян льна является получение *льняного масла*. Льняное масло богато полиненасыщенными жирными кислотами, витаминами и микроэлементами, которые благотворно влияют на организм человека. Содержание масла в семенах льна варьируется в пределах 30–45% в зависимости от сорта. Лен-долгунец содержит 30–35% жира, масличный – свыше 40% [8, 35]. Одной из важных особенностей льняного масла является высокое

содержание в нем омега-3 и омега-6 жирных кислот. Эти незаменимые жирные кислоты являются строительным материалом для клеток и играют важную роль в процессе обмена веществ. Кроме того, льняное масло обладает высоким содержанием витамина Е – натурального антиоксиданта, который защищает клетки от свободных радикалов и замедляет процесс старения. В питании очень важно употреблять растительные жиры, так как они являются уникальным источником незаменимых жирных кислот и витаминов. Основными жирными кислотами в льняном масле являются ненасыщенные жирные кислоты: альфа-линоленовая, олеиновая и линолевая, среднее содержание которых в льняном масле соответственно 53, 24, 18%, и насыщенные жирные кислоты: пальмитиновая, стеариновая, арахиновая, бегеновая, среднее содержание которых соответственно 6, 4, 0,6, 0,3%. Содержащиеся в льняном масле витамины (В, В<sub>2</sub>, В<sub>4</sub>, В<sub>6</sub>, В<sub>9</sub>, К) и токоферолы обеспечивают его использовать в качестве составляющей диетического, лечебного и профилактического питания в медицине, кулинарии, косметологии и т. д. [8, 36, 37].

В семенах льна содержатся минеральные вещества: фосфор (622 мг/100 г), магний (431 мг/100 г) и кальций (236 мг/100 г), в меньшем количестве натрия (27 мг/100 г), медь, железо, цинк и марганец (менее 10%) [32].

В табл. 4 приведен сравнительный жирнокислотный состав насыщенных, мононенасыщенных и полиненасыщенных кислот (пальмитиновая (C<sub>16:0</sub>), стеариновая (C<sub>18:0</sub>), олеиновая (C<sub>18:1(n-9)</sub>), линолевая (C<sub>18:2(n-6)</sub>), альфа-линоленовая (C<sub>18:3(n-3)</sub>)) различных растительных семян [38].

Из табл. 4 видно, что льняное масло и масло семян периллы являются наиболее богатыми по содержанию альфа-линоленовой кислоты, которая является одной из важнейших полиненасыщенных жирных кислот. Кроме того, льняное масло – богатый источник линолевой кислоты и олеиновой кислоты. Благодаря такому богатому составу льняное масло является ценным продуктом для поддержания здоровья.

Таблица 4

## Жирнокислотный состав различных масличных культур

Жирные кислоты (%)	Соевое масло	Рапсовое масло	Масло грецкого ореха	Льняное масло	Масло семян периллы	Подсолнечное масло [39]	
						Высокоолеиновое	Низкоолеиновое
C <sub>16:0</sub>	10,1	4,6	7,0	5,6	6,4	4,2–4,6	5,6–7,6
C <sub>18:0</sub>	4,3	1,7	0,7	3,2	1,6	4,1–4,8	2,7–6,3
C <sub>18:1(n-9)</sub>	22,3	60,1	18,3	17,7	13,8	61,0–69,8	14,0–39,4
C <sub>18:2(n-6)</sub>	53,7	21,4	59,7	15,7	15,5	21,9–28,0	50,0–75,0
C <sub>18:3(n-3)</sub>	8,1	11,4	13,2	57,8	62,6	–	До 0,2

Семена льна содержат *фенольные соединения*, которые подразделяются на фенольные кислоты и лигнаны. Обнаружено, что содержание фенольных кислот в канадском сорте семян льна колеблется в пределах 790–1030 мг/100 г, из которых наибольшее количество приходится на хлорогеновую, *n*-гидроксibenзойную, феруловую, ванилиновую и кумариновую кислоты [40].

*Каротиноиды* – это органические соединения с 40 атомами углерода, содержащиеся во многих семенах и плодах, которые придают им красный, оранжевый и желтый цвета, а также являются предшественниками витамина А. β-Каротин – один из важных пигментов, обладающий наиболее высокой провитаминой активностью. Обнаружено [40], что содержание каротиноидов в семенах льна составляет 0,7–3,1 мг/кг, однако значительно больше β-каротина в льняном масле (77 мг/кг). Кроме того, существует взаимосвязь между количеством токохроманола и каротиноидов в семенах льна и количеством солнечных часов, проведенных на солнце в период созревания семян. Каротиноиды играют решающую роль в борьбе с фотоокислением и поэтому имеют особое значение в связи с высоким содержанием ненасыщенных липидов в семенах.

Представляет интерес разработка технологий производства, обеспечивающих выделение из семян льна функциональных ингредиентов (белков, пищевых волокон) и биологически активных веществ, в частности *лигнанов*. Однако работы в этом направлении в основном нахо-

дятся на уровне исследований и в промышленных масштабах не осуществлены.

Лигнаны относят к классу соединений, называемых фитоэстрогенами, т. е. веществ растительного происхождения, проявляющих гормоноподобную (экстрагенную) активность в организме человека. Первые лигнаны, которые обнаружены в продуктах питания, были секоизоларицирезинол и матаирезинол [41].

Семена льна – богатейший источник лигнанов. Наиболее ценным с точки зрения биологической активности, а также удельного содержания в семенах является секоизоларицирезинола диглюкозид (SDG), причем его содержание в семенах льна масличного достигает достаточно высокого уровня по сравнению с семенами других видов растений [42]. У некоторых сортов льна масличного удельное содержание SDG составляет 1%, тогда как в семенах сои и зерновых культур его уровень не превышает 0,002 и 0,001% соответственно [43]. Особый интерес с точки зрения технологии представляет тот факт, что содержание SDG достигает наибольшего уровня (2,6%) в оболочках семян льна масличного.

Благодаря высокому содержанию биологически активных лигнанов семена льна масличного могут быть использованы в качестве сырья для получения препаратов с профилактическими и лечебными свойствами [44]. Содержание различных форм лигнанов в растениях приведено в табл. 5.

Из табл. 5 видно, что семена льна являются наиболее богатым источником лигнанов.

Таблица 5

## Содержание различных форм лигнанов в растениях

Источник	Лигнаны	Содержание, мг/кг	Ссылки
Льняное семя	Секоизоларицирезинол	2900–3700	[45]
	Матаирезинол	7–28,5	[46]
	Секоизоларицирезинола диглюкозид	11 900–25 900	[42]
Кунжут	Секоизоларицирезинол	293	[47]
	Матаирезинол	4,8	[48]
Злаковые	Секоизоларицирезинол	0,1–1,3	[48]
	Матаирезинол	0–1,7	[48]

В настоящее время растет спрос на кормовые и пищевые *белки*. По данным Всемирной организации здравоохранения, более 60% населения планеты не получают в рационе достаточного количества белка, что приводит к его дефициту в организме человека [49]. Поэтому актуальной задачей является обеспечение населения белковыми продуктами и увеличение приоритета исследований в этой области, что подтверждается разработкой и реализацией специальных программ в развитых странах мира [50].

Качество пищевого белка определяется наличием в нем полного и сбалансированного набора незаменимых аминокислот в определенном количестве и в определенном соотношении с заменимыми аминокислотами и характеризуется главным образом его биологической ценностью, степенью утилизации белка, его аминокислотным составом, коэффициентом перевариваемости человеком.

Растительное сырье для производства белков значительно дешевле, чем животный белок. В настоящее время широко применяется соевый белок, аминокислотный состав которого более близок к животным белкам. В то же время для соевого белка характерны негативные свойства [51]:

- содержание большого количества природных токсинов, или «антинутриентов», которые блокируют действие трипсина и других ферментов, необходимых для переваривания белков, способны вызывать серьезные расстройства желудка;
- высокое содержание фитиновой кислоты, которая блокирует поглощение в желудочно-кишечном тракте необходимых минералов – кальция, магния, меди, железа и особенно цинка;
- высокое содержание фитоэстрогенов.

Перизбыток эстрогенов вызывает серьезные гормональные нарушения как у женщин, так и у мужчин. Изофлавоны сои ингибируют синтез эстрадиола и других стероидных гормонов, вызывая репродуктивные проблемы, бесплодие, заболевания щитовидной железы. Имеются сведения, что соевый протеин при длительном приеме наносит вред сердечно-сосудистой системе, приводит к ускоренному старению мозга и более выраженному снижению познавательной функции;

- большая часть (около 99% сои) является генетически модифицированной, кроме того, соя имеет один из самых высоких показателей загрязнения пестицидами.

Изолят соевого белка (SPI) является в настоящий время основным ингредиентом в большинстве соевых продуктов, которые имитируют мясо и молочные продукты, в том числе он входит с состав детского питания и некоторых марок молока.

Альтернативным источником пищевого белка являются зерновые (пшеница) и бобовые (горох) культуры, а также масличные, имеющие

практическое значение как источники растительного масла. За последние 10 лет мировое производство масличных культур увеличилось на 42,6%. Масличные семена по содержанию белка почти в два раза превосходят хлебные злаки [52, 53].

Масличные культуры имеют определенные экономические преимущества перед зернобобовыми, так как белок масла семян, как правило, вторичный продукт и его себестоимость значительно ниже, чем у зернобобовых, которые возделываются только ради получения белка.

Одним из перспективных источников получения белка являются семена льна. По данным исследования, пищевая ценность белка из семян льна оценивается в 92 единицы в сравнении со 100 единицами казеина молока [52].

Семена льна являются богатым источником белков, которые составляют до 23% от общей массы семян, и это количество увеличивается до 35–40% в шроте после экстракции масла. Сбалансированное сочетание аминокислот в льняном семени обеспечивает высокий показатель качества белка, который даже выше, чем у сои. Семена льна в основном содержат два типа белков: альбумины и глобулины, которые благодаря своим свойствам также известны как линины и колинины. Глобулины составляют 80% от общего количества белков. Семена льна считаются предпочтительным источником белка из-за значительного количества аминокислот на основе серы (цистеин и метионин), аминокислот с разветвленной цепью (лейцин, изолейцин, алин) и незаменимых аминокислот (тирозин, треонин и лизин) [40, 54].

Разработка технологий получения белковых продуктов и компонентов с высокой добавленной стоимостью, переработка малоценных отходов возобновляемого растительного сырья и использование растительных белков в пищевой промышленности являются важнейшим приоритетом в настоящее время.

Семенная оболочка льна содержит клетчатку и слизистые вещества.

Пищевые волокна – это вещества, не перевариваемые пищеварительными ферментами организма человека, но перерабатываемые полезной микробиотой кишечника.

Семена льна служат хорошим источником как растворимых, так и нерастворимых *пищевых волокон*. Они содержат 35–45% клетчатки, две трети из которых нерастворимые, а треть – растворимые волокна. Нерастворимые волокна состоят из целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина. Большая часть растворимой клетчатки представляет собой слизь оболочки семян. Клетчатка играет важную роль в поддержании здоровья человека [25].

Полисахариды льняной слизи составляют основную часть углеводов семян льна. Они легко растворяются в холодной воде, образуют вязкие растворы при небольших концентрациях (1–3%), показано их влияние на снижение гликемического индекса, содержания холестерина в крови, а также пребиотическое действие [55]. Полисахариды семян льна относятся к пищевым волокнам, которые являются физиологически необходимым компонентом пищи, что позволяет рассматривать их как биологически ценный компонент для стабилизации овощных и фруктовых соков, в качестве ингредиента для предотвращения синерезиса и улучшения текстуры молочных продуктов. Вододерживающая способность (ВУС) полисахаридов семян льна сопоставима с ВУС гуаровой камеди. По растворимости, пеноустойчивости и вязкости их можно использовать в качестве аналога гуммиарабика в пищевых технологиях.

Для пищевой промышленности водорастворимые полисахариды растительных слизей представляют интерес в качестве технологических пищевых добавок типа гидроколлоидов, которые играют роль структурообразователя, водосвязывающего и жиродерживающего агента, загустителя, стабилизатора и пр. Их также рассматривают в качестве растворимых пищевых волокон, которые являются незаменимым функциональным пищевым ингредиентом с доказанным физиологическим действием [56, 57]. Потребность в подобных пищевых добавках для производства продуктов здорового питания растет с каждым годом.

В пищевых продуктах полисахариды выполняют важную функцию обеспечения их качества и текстуры: твердости, хрупкости, плотности, загустевания, вязкости, липкости, гелеобразующей способности. Именно благодаря полисахаридам образуется структура пищевого продукта – мягкая или хрупкая, набухшая или желеобразная. Различия в строении и свойствах отдельных полисахаридов, используемых в качестве пищевых добавок (гидроколлоидов), обуславливают многообразие выполняемых ими функций: в качестве желеобразующего агента [58], структурообразователя [59], стабилизатора [60], заменителя жира [61, 62], пребиотика [63], съедобного покрытия и пленки [64, 65]. Они не только увеличивают вязкость, но и способствуют повышению биологической и пищевой ценности тех продуктов, к которым их добавляют.

Особенностью углеводного состава семян льна является минимальное количество сахаров и крахмала, а большинство углеводов представлено в виде слизиобразующих полисахаридов (слизей). До недавнего времени считалось, что слизи льна представляют собой комплекс двух полисахаридов, отличающихся друг от друга по

физико-химическим свойствам, таким как состав, молекулярная масса, структурная конформация, показатели вязкости. Основной слизиобразующий полисахарид, составляющий до 80% от общей доли, является смесью арабиноксилана (56%) и галактоглобулана (44%). Минорный компонент слизей (до 20%) представляет собой гетерогенную группу галактуронанов [66].

Льняная слизь представляет собой смесь водорастворимых полисахаридов, включающих главным образом L-лактозу, D-ксилозу, L-рамнозу и D-галактуроновую кислоту. Полисахариды слизи образуют две основные фракции: нейтральную и кислую. Нейтральные полисахариды, или арабиноксиланы, состоят из остатков ксилана, соединенных  $\beta$  (1→4) связями в основной цепи, и L-арабинозы и D-галактозы в боковых цепях. Отрицательно заряженная фракция содержит L-рамнозу, D-галактозу, D-галактуроновую кислоту. Основными полисахаридами кислой фракции являются полисахарид из остатков рамнозы, соединенных в положении  $\alpha$  (1→2), и полисахарид из остатков галактуроновой кислоты. Боковые цепи образованы фруктозой и галактозой. Соотношение этих фракций зависит от генотипа льна и во многом определяет свойства полисахаридов льняных слизей, в том числе и реологические [67].

Отличительной особенностью углеводов семян льна является также содержание в них водорастворимых полисахаридов – пентозанов, которые при замачивании способны образовывать слизь на поверхности семян, ее содержание составляет примерно 2–7% от общей массы. Слизь семян льна масличного являются гетерогенной системой полисахаридов, в состав которых входят рамноза – 7,9%, фруктоза – 3,0%, арабиноза – 8,9%, ксилоза – 33,0%, галактоза – 14,1%, глюкоза – 3,7%, галактуроновая кислота – 28,6% [32].

По реологическим свойствам полисахариды льняной слизи близки к гуаровой камеди, широко используемой в пищевом производстве [68]. Они представляют практический интерес в производстве пищевых продуктов в качестве вододерживающего агента, текстуратора и связующего компонента, использование которого позволит частично снизить потребность в импортных компонентах.

Тем не менее в качестве монокомпонента гидроколлоиды семян льна используются довольно редко из-за недостаточной информации об их функциональных свойствах.

Гидроколлоиды семян льна в Республике Беларусь не производятся. Возможность их получения основана на доступности сырья (семена льна отечественных сортов) и результатах научных исследований.



**Заключение.** Таким образом, в настоящее время приоритетным направлением в области создания инновационных пищевых продуктов является разработка технологий производства продуктов функционального и специализированного назначения, пользующихся спросом среди потребителей.

Функциональные продукты оказывают дополнительное влияние на организм человека, помимо основного питания. Продукты растительного происхождения, в том числе выделенные из

семян льна, благодаря своему составу способствуют общему укреплению здоровья.

Комплексная переработка льна с использованием волокна для получения целлюлозы,  $\alpha$ -целлюлозы и глубокая переработка семян, обеспечивающая извлечение масла, пищевых волокон, полисахаридного комплекса (камедей) и пищевого белка, являются перспективным направлением и имеют важное значение для пищевой, фармацевтической, косметической и других отраслей промышленности.

### Список литературы

1. Тавгень Е., Вразалица А. Мировой рынок льняной продукции: обзор // Наука и инновации. 2021. № 8 (222). С. 61–67.
2. Flax: Ancient to modern food / H. Qamar [et al.] // Pure and Applied Biology. 2019. Vol. 8, no. 4. P. 2269–2276. DOI: 10.19045/bspab.2019.80173.
3. Diederichsen A., Fu Y. B. Phenotypic and molecular (RAPD) differentiation of four infraspecific groups of cultivated flax (*Linum usitatissimum* L. subsp. *usitatissimum*) // Gen. Res. and Crop Evol. 2006. Vol. 53. P. 77–90. DOI: 10.1007/s10722-004-0579-8.
4. Diederichsen A. Comparison of genetic diversity of flax (*Linum usitatissimum* L.) between Canadian cultivars and a world collection // Plant Breeding. 2001. Vol. 120, no. 4. P. 360–362. DOI: 10.1046/j.1439-0523.2001.00616.x.
5. Новиков Э. В., Басова Н. В., Безбабченко А. В. Лубяные культуры в России и за рубежом: состояние, проблемы и перспективы их переработки // Технические культуры. Научный сельскохозяйственный журнал. 2021. № 1. С. 30–40. DOI: 10.54016/SVITOK.2021.1.1.005.
6. Степанова Н. В., Чирик Д. П. Оценка сырьевого потенциала льна масличного // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 1. С. 126–129.
7. Королева Е. Н., Новиков Э. В., Безбабченко А. В. Возможность получения длинного волокна из тресты масличного льна на различном технологическом оборудовании // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2021. Т. 15, № 2. С. 19–25. DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-2-19-25.
8. Титок В. В., Леонтьев В. Н., Лугин В. Г. Современные инструментальные методы анализа льнопродукции. Минск: БГТУ, 2011. 278 с.
9. Comparative analysis of fiber structure and cellulose contents in flax and hemp fibres / G. Zommere [et al.] // Materials Science Textile and Clothing Technology. 2013. Vol. 8. P. 96–104. DOI: 10.7250/mstct.2013.016.
10. Шаршунов В. А., Алексеенко А. С., Цайц М. В. Состояние льноводческой отрасли Республики Беларусь и пути повышения ее эффективности // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 2. С. 267–271.
11. Сайт Национального статистического комитета Республики Беларусь. URL: <http://belstat.gov.by/> (дата обращения: 24.02.2024).
12. Сайт Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь. URL: <https://mshp.gov.by/ru/> (дата обращения: 20.03.2024).
13. Миневич И. Э., Осипова Л. Л., Зубцов В. А. Реологические свойства растворов полисахаридов семян льна // Пищевая промышленность. 2017. № 5. С. 38–40.
14. Вокурова Д. А., Никифорова Т. Е. Влияние метода подготовки целлюлозосодержащего сорбента на основе льняного волокна на его функциональные свойства // Вестник МГТУ. 2022. Т. 25, № 3. С. 153–167. DOI: 10.21443/1560-9278-2022-25-3-153-167.
15. Химический состав волокна и костры лубяных культур и продуктов их щелочной делигнификации / А. А. Корчагина [и др.] // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2023. Т. 13, № 4. С. 621–630. DOI: 10.21285/2227-2925-2023-13-4-621-630.
16. Пестис М. В., Шинтарь И. М., Пестис П. В. Состояние и перспективы производства и переработки льна в условиях Гродненской области: монография. Гродно: ГГАУ, 2011. 168 с.
17. Рожмина Т. А., Понажев В. П. Состояние и перспективы развития льняного сектора России // Вестник Российской академии естественных наук. 2015. № 1. С. 59–63.
18. Целлюлозный продукт с содержанием  $\alpha$ -целлюлозы 98,5% и выше и промышленный способ его получения: пат. RU 2703250 C2 / Е. А. Луканин, Д. А. Егоров. Оpubл. 15.10.2019.
19. Способ получения льняной целлюлозы: пат. RU 276635 C1 / И. И. Малов, А. А. Ишпаева, Е. В. Шахина, Р. Ф. Гагина, М. Р. Фахрутдинов, Ю. М. Михайлов. Оpubл. 24.03.2022.

20. Способ получения очищенного льняного волокна: пат. RU 2347862 С1 / В. Н. Галашина, А. П. Морыганов, А. Г. Захаров, А. Р. Данилов, А. М. Гатаулич. Опубл. 27.02.2009.
21. Высококачественные целлюлозы из различного вида сырья и управление процессом их получения / З. Т. Валишина [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. 2014. № 21. С. 29–31.
22. Processing and properties of PCL/cotton linter compounds / E. V. Bezerra [et al.] // Materials Research. 2017. Vol. 20. P. 317–325. DOI: 10.1590/1980-5373-MR-2016-0084.
23. Богданова О. Ф., Горач О. А. Особенности получения целлюлозы из льняного волокна моносульфитным способом // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 1. С. 183–187.
24. Малюшевская А. П., Малюшевский П. П., Ющишина А. Н. Получение целлюлозы из льняного волокна с использованием электроразрядной объемной кавитации // Электронная обработка материалов. 2020. Т. 56, № 2. С. 49–54. DOI: 10.5281/zenodo.3747835.
25. Raghuwanshi V. P., Agrawal R. S., Mane K. A. Flaxseed as a functional food: a review // Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 2019. Vol. 8, no. 3. P. 352–354.
26. Bernacchia R., Preti R., Vinci G. Chemical composition and health benefits of flaxseed // Austin Journal of Nutrition and Food Sciences. 2014. Vol. 2, no. 8. P. 1–9.
27. A review of phytochemicals and uses of flaxseed / M. Yasmeen [et al.] // International Journal of Chemical and Biochemical Sciences. 2018. Vol. 13. P. 70–75.
28. Health benefits of flaxseed and its peptides (linosorbs) / Y. Y. Shim [et al.] // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2024. Vol. 64, no. 7. P. 1845–1864. DOI: 10.1080/10408398.2022.2119363.
29. Recent advances in utilization of flaxseed as potential source for value addition / P. Kaur [et al.] // Oilseeds & Fats Crops and Lipids. 2018. Vol. 25, no. 3. P. 1–11. DOI: 10.1051/ocl/2018018.
30. Федорова Р. А. Биохимические основы продуктов переработки зерна. Мука. СПб.: Университет ИТМО, 2017. 98 с.
31. Химический состав российских пищевых продуктов: справочник / под ред. И. М. Скурихина, В. А. Тутельяна. М.: ДеЛи принт, 2002. 236 с.
32. Зубцов В. А., Осипова Л. Л., Лебедева Т. И. Льняное семя, его состав и свойства // Российский химический журнал. 2002. № 2. С. 14–16.
33. Морозова И. М., Мазурова Н. Н., Морозов И. М. Биохимический состав семян масличных культур, используемых при производстве кормовой продукции // Вестник ВГУ. 2022. № 1. С. 48–53.
34. Общий химический и аминокислотный состав семян наиболее распространенных масличных культур семейства Brassicaceae / Ю. Ю. Поморова [и др.] // Масличные культуры. 2021. № 3. С. 78–90. DOI: 10.25230/2412-608X-2021-3-187-78-90.
35. Андроник Е. Л., Снопов А. Н., Иванова Е. В. Районированные и перспективные белорусские сорта льна масличного // Масличные культуры: научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2018. № 3 (175). С. 161–164. DOI: 10.25230/2412-608X-2018-3-175-161-164.
36. Silska G., Walkowiak M. Comparative analysis of fatty acid composition in 84 accessions of flax (*Linum usitatissimum* L.) // Journal of Pre-Clinical and Clinical Research. 2019. Vol. 13, no. 3. P. 118–129. DOI: 10.26444/jpcr/111889.
37. Исследование жирнокислотного и витаминного состава льняного масла холодного отжима / А. Н. Остриков [и др.] // Пищевая промышленность. 2020. № 8. С. 52–55. DOI: 10.24411/0235-2486-2020-10086.
38. Kamal-Eldina A., Yanishlievab N. V. N-3 fatty acids for human nutrition: stability considerations // European Journal of Lipid Science and Technology. 2002. Vol. 104. P. 825–836. DOI: 10.1002/1438-9312(200212)104:123.0.CO;2-N.
39. Гамаюрова В. С., Ржечицкая Л. Э. Мифы и реальность в пищевой промышленности. Сравнение пищевой и биологической ценности растительных масел // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 18. С. 146–155.
40. Flaxseed bioactive compounds: chemical composition, functional properties, food applications and health benefits-related gut microbes / A. Mueed [et al.] // Foods. 2022. Vol. 11, no. 20. P. 1–25. DOI: 10.3390/foods11203307.
41. Murphy P. A., Hendrich S. Phytoestrogens in foods // Adv. Food Nutr. 2002. Vol. 44. P. 195–246. DOI: 10.1016/S1043-4526(02)44005-3.
42. High-performance liquid chromatographic analysis of secoisolariciresinoldiglucoside and hydroxycinnamic acid glucosides in flaxseed by alkaline extraction / C. Eliasson [et al.] // J. Chromatography A. 2003. Vol. 1012, no. 1. P. 151–159. DOI: 10.1016/S0021-9673(03)01136-1.

43. Mazur W. Phytoestrogen content in foods // *Bailliere's Clinical Endocrinology and Metabolism*. 1998. Vol. 12. P. 729–742. DOI: 10.1016/S0950-351X(98)80013-X.
44. Лен масличный как источник лигнанов для получения фитопрепаратов с антиаллергенной и антиоксидантной активностью / В. Н. Леонтьев [и др.] // *Нетрадиционные природные ресурсы, инновационные технологии и продукты: сб. науч. тр.* 2007. № 15. С. 120–125.
45. Isotope dilution gas chromatographic-mass spectrometric method for the determination of isoflavonoidscoumestrol and lignans in food samples / W. Mazur [et al.] // *Anal. Biochem*. 1996. Vol. 233. P. 169–180. DOI: 10.1006/abio.1996.0025.
46. Kraushofer T. Determination of matairesinol in flax seed by HPLC with coulometric electrode array detection // *Journal of Chromatography B*. 2002. Vol. 777. P. 61–66. DOI: 10.1016/S1570-0232(01)00577-3.
47. Intake of the plant lignans secoisolariciresinol, matairesinol, lariciresinol, and pinoresinol in Dutch men and women / I. E. Milder [et. al.] // *Journal Nutr*. 2005. Vol. 135, no. 5. P. 1202–1207. DOI: 10.1093/jn/135.5.1202.
48. Mazur W., Adlercreutz H. Natural and anthropogenic environmental oestrogens: the scientific basis for risk assessment, naturally occurring oestrogens in food // *Pure and Applied Chemistry*. 1998. Vol. 70. P. 1759–1776. DOI: 10.1351/pac199870091759.
49. Кудинов П. И., Щеколдина Т. В., Слизька А. С. Современное состояние и структура мировых ресурсов растительного белка // *Известия вузов. Пищевая технология*. 2012. № 4. С. 124–130.
50. Получение белковых продуктов из нетрадиционных источников и перспективы их использования / В. И. Манжесов [и др.] // *Современные наукоемкие технологии*. 2013. № 8, ч. 2. С. 316–317.
51. Белковые изоляты из растительного сырья: обзор современного состояния и анализ перспектив развития технологии получения белковых изолятов из растительного сырья / Д. В. Компанцев [и др.] // *Современные проблемы науки и образования*. 2016. № 1. С. 58–69.
52. Щербаков Е. В. Применение биотехнологических методов при переработке растительного масличного сырья: монография. Краснодар: Ризограф, 2006. 288 с.
53. Щербаков В. Г., Лобанов В. Г., Минаков А. Д. Белки масличных семян: монография. Краснодар: Изд-во КубГТУ, 2010. 185 с.
54. Воронова Н. С., Бередина Л. С. Исследование белков семян льна как полноценных и необходимых для здоровья человека // *Молодой ученый*. 2015. № 14. С. 144–147.
55. Цыганова Т. Б., Миневич И. Э., Осипова Л. Л. Полисахариды семян льна: практическое применение // *Теоретические аспекты хранения и переработки сельхозпродукции*. 2019. № 2. С. 24–36. DOI: 10.36107/spfp.2019.151.
56. Сравнительная характеристика камедей и перспективы их применения для загущения соусов / М. А. Муханова [и др.] // *Индустрия питания*. 2021. Т. 6, № 3. С. 58–68. DOI: 10.29141/2500-1922-2021-6-3-7.
57. Особенности процесса экстракции полисахаридов слизи из семян льна / И. Э. Миневич [и др.] // *Научный журнал НИУ ИТМО*. 2018. № 2. С. 3–11. DOI: 10.17586/2310-1164-2018-11-2-3-11.
58. Yang J., Choi Y. J., Hahn J. Development of flaxseed gum/konjac glucomannan with agar as gelling agents with enhanced elastic properties // *Food Science and Biotechnology*. 2023. Vol. 32, no. 2. P. 181–192. DOI: 10.20944/preprints202104.0189.v1.
59. Linseed (*Linum usitatissimum* L.) mucilage as a novel structure forming agent in gluten-free bread / J. Korus [et al.] // *Food Science and Technology*. 2015. Vol. 62, no. 1. P. 257–264. DOI: 10.1016/j.lwt.2015.01.040.
60. Puligundla P., Lim S. A review of extraction techniques and food applications of flaxseed mucilage // *Foods*. 2022. Vol. 11. P. 1677. DOI: 10.3390/foods11121677.
61. Manufacture of functional fat-free cream cheese fortified with probiotic bacteria and flaxseed mucilage as a fat replacing agent / E. M. Akl [et al.] // *Current Nutrition & Food Science*. 2020. Vol. 16, no. 9. P. 1393–1403. DOI: 10.2174/1573401316666200227112157.
62. Role of flaxseed gum and whey protein microparticles in formulating low-fat model mayonnaises / K. Yang [et al.] // *Foods*. 2022. Vol. 11, no. 3. P. 282. DOI: 10.3390/foods11030282.
63. Preliminary evaluation of potential prebiotic capacity of selected legumes and seed mucilage on the probiotic strain *Lactobacillus rhamnosus* GG / K. W. Lai [et al.] // *Asia-pacific Journal of Molecular Biology and Biotechnology*. 2021. Vol. 29, no. 1. P. 60–72. DOI: 10.35118/apjmbb.2021.029.1.07.
64. Development of edible film from flaxseed mucilage / Y. B. Tee [et al.] // *BioResources*. 2016. Vol. 11, no. 4. P. 10 286–10 295. DOI: 10.15376/biores.11.4.10286-10295.
65. Chemical, physical, and barrier properties of edible film from flaxseed mucilage / Y. B. Tee [et al.] // *BioResources*. 2017. Vol. 12, no. 3. P. 6656–6664. DOI: 10.15376/biores.12.3.6656-6664.
66. Зеленцов С. В., Мошненко Е. В. Количественная и качественная оценка слизей семян масличных сортов льна *Linum usitatissimum* L. // *Масличные культуры: науч.-техн. бюл. Всеросс. науч.-исслед. ин-та масличных культур*. 2012. № 2. С. 95–102.

67. Киреева М. С. Функционально-технологические свойства семян льна и разработка технологии мучных кондитерских изделий специализированного назначения на их основе: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.07. СПб., 2014. 113 л.

68. Cui W., Mazza G. Physico-chemical characteristics of flaxseed gum // *Food Research International*. 1996. Vol. 29. P. 397–402. DOI: 10.1016/0963-9969(96)00005-1.

### References

1. Tavgen E., Vrazalitsa A. The world market of linen products: an overview. *Nauka i innovatsii* [Science and innovation], 2021, no. 8 (222), pp. 61–67 (In Russian).

2. Qamar H., Ilyas M., Shabbir G., Irshad G., Nisar F., Abbas S. M., Ghias M., Arshad F. Flax: Ancient to modern food. *Pure and Applied Biology*, 2019, vol. 8, no. 4, pp. 2269–2276. DOI: 10.19045/bspab.2019.80173.

3. Diederichsen A., Fu Y. B. Phenotypic and molecular (RAPD) differentiation of four infraspecific groups of cultivated flax (*Linum usitatissimum* L. subsp. *usitatissimum*). *Gen. Res. and Crop Evol.*, 2006, vol. 53, pp. 77–90. DOI: 10.1007/s10722-004-0579-8.

4. Diederichsen A. Comparison of genetic diversity of flax (*Linum usitatissimum* L.) between Canadian cultivars and a world collection. *Plant Breeding*, 2001, vol. 120, no. 4, pp. 360–362. DOI: 10.1046/j.1439-0523.2001.00616.x.

5. Novikov E. V., Basova N. V., Bezbabchenko A. V. Bast crops in Russia and abroad: state, problems and prospects of their processing. *Tekhnicheskie kul'tury. Nauchnyy sel'skohozyaystvennyy zhurnal* [Technical cultures. Scientific agricultural journal], 2021, no. 1, pp. 30–40 (In Russian). DOI: 10.54016/SVITOK.2021.1.1.005.

6. Stepanova N. V., Chirik D. P. Assessment of the raw material potential of oilseed flax. *Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy sel'skohozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy], 2021, no. 1, pp. 126–129 (In Russian).

7. Koroleva E. N., Novikov E. V., Bezbabchenko A. V. The possibility of obtaining long fiber from oilseed flax trusts on various technological equipment. *Sel'skohozyaystvennyye mashiny i tekhnologii* [Agricultural machinery and technology], 2021, vol. 15, no. 2, pp. 19–25 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2021-15-2-19-25.

8. Titok V. V., Leont'ev V. N., Lugin V. G. *Sovremennyye instrumental'nyye metody analiza l'noпродукции* [Modern instrumental methods for the analysis of flax products]. Minsk, BSTU Publ., 2011. 278 p. (In Russian).

9. Zommere G., Vilumsone A., Kalnina D., Solizenko R., Stramkale V. Comparative analysis of fiber structure and cellulose contents in flax and hemp fibres. *Materials Science Textile and Clothing Technology*, 2013, vol. 8, pp. 96–104. DOI: 10.7250/mstct.2013.016.

10. Sharshunov V. A., Alekseenko A. S., Cajc M. V. The state of the agricultural sector of the Republic of Belarus and ways to improve its efficiency. *Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy sel'skohozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy], 2019, no. 2, pp. 267–271 (In Russian).

11. National Statistical Committee of the Republic of Belarus'. Available at: <http://belstat.gov.by/> (accessed 24.02.2024) (In Russian).

12. Ministry of Agriculture and Food of the Republic of Belarus'. Available at: <https://mshp.gov.by/ru/> (accessed 24.02.2024) (In Russian).

13. Minevich I. E., Osipova L. L., Zubtsov V. A. Rheological properties of solutions of polysaccharides of flax seeds. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food industry], 2017, no. 5, pp. 38–40 (In Russian).

14. Vakurova D. A., Nikiforova T. E. The influence of the method of preparation of a cellulose-containing sorbent based on flax fiber on its functional properties. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Moscow State Technical University], 2022, vol. 25, no. 3, pp. 153–167 (In Russian). DOI: 10.21443/1560-9278-2022-25-3-153-167.

15. Korchagina A. A., Gladysheva E. K., Budaeva V. V., Skiba E. A. Chemical composition of fiber and bonfires of bast crops and products of their alkaline delignification. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya* [News of universities. Applied Chemistry and Biotechnology], 2023, vol. 13, no. 4, pp. 621–630 (In Russian). DOI: 10.21285/2227-2925-2023-13-4-621-630.

16. Pestis M. V., Shintar' I. M., Pestis P. V. *Sostoyaniye i perspektivy proizvodstva i pererabotki l'na v usloviyakh Grodnenskoj oblasti: monografiya* [The state and prospects of flax production and processing in the Grodno region: monograph]. Grodno, GGAU Publ., 2011. 168 p. (In Russian).

17. Rozhmina T. A., Ponazhev V. P. The state and prospects of development of the Russian linen sector. *Vestnik Rossiyskoy akademii estestvennykh nauk* [Bulletin of the Russian Academy of Natural Sciences], 2015, no. 1, pp. 59–63 (In Russian).

18. Lukanin E. A., Egorov D. A. Cellulose product with a content of  $\alpha$ -cellulose 98.5% and above and an industrial method for its production. Patent RU 2703250, 2019 (In Russian).

19. Malov I. I., Ishbaev A. A., Shakhmina E. V., Gatina R. F., Fakhrutdinov M. R., Mikhailov Yu. M. Method of producing flax pulp. Patent RU 276635, 2022 (In Russian).
20. Galashina V. N., Moryganov A. P., Zakharov A. G., Danilov A. R., Gataullin A. M. Method of obtaining purified flax fiber. Patent RU 2347862, 2009 (In Russian).
21. Valishina Z. T., Kostochko A. V., Shipina O. T., Aleksandrov A. A. High-quality celluloses from various types of raw materials and control of their production process. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Kazan Technological University], 2014, no. 21, pp. 29–31 (In Russian).
22. Bezerra E. B., Campos França D., Diniz de Souza Morais D., de Freitas Rosa M., Saraiva Morais J. P., Araujo E. M., Ramos Wellen R. M. Processing and properties of PCL/cotton linter compounds. *Materials Research*, 2017, vol. 20, pp. 317–325. DOI: 10.1590/1980-5373-MR-2016-0084.
23. Bogdanova O. F., Gorach O. A. Features of obtaining cellulose from flax fiber by monosulfite method. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti* [News of higher educational institutions. Textile industry technology], 2022, no. 1, pp. 183–187 (In Russian).
24. Malyushevskaya A. P., Malyushevskiy P. P., Yushchishina A. N. Production of cellulose from flax fiber using electric discharge volumetric cavitation. *Elektronnaya obrabotka materialov* [Electronic processing of materials], 2020, vol. 56, no. 2, pp. 49–54 (In Russian). DOI: 10.5281/zenodo.3747834.
25. Raghuwanshi V. P., Agrawal R. S., Mane K. A. Flaxseed as a functional food: a review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 2019, vol. 8, no. 3, pp. 352–354.
26. Bernacchia R., Preti R., Vinci G. Chemical composition and health benefits of flaxseed. *Austin Journal of Nutrition and Food Sciences*, 2014, vol. 2, no. 8, pp. 1–9.
27. Yasmeen M., Nisar S., Tavallali V., Khalid T. A review of phytochemicals and uses of flaxseed. *International Journal of Chemical and Biochemical Sciences*, 2018, vol. 13, pp. 70–75.
28. Shim Y. Y., Kim J. H., Cho J. Y., Reaney M. J. T. Health benefits of flaxseed and its peptides (linusorbs). *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2024, vol. 64, no. 7, pp. 1845–1864. DOI: 10.1080/10408398.2022.2119363.
29. Kaur P., Waghmare R., Kumar V., Rasane P. Recent advances in utilization of flaxseed as potential source for value addition. *Oilseeds & Fats Crops and Lipids*, 2018, vol. 25, no. 3, pp. 1–11. DOI: 10.1051/ocf/2018018.
30. Fedorova R. A. *Biokhimicheskiye osnovy produktov pererabotki zerna. Muka* [Biochemical bases of grain processing products. Flour]. St. Petersburg, ITMO University Publ., 2017. 98 p. (In Russian).
31. *Khimicheskiy sostav rossiyskikh pishchevykh produktov: spravochnik* [Chemical composition of Russian food products: a reference book]. Ed. by I. M. Skurikhin, V. A. Tutel'yan. Moscow, DeLi print Publ., 2002. 236 p. (In Russian).
32. Zubtsov V. A., Osipova L. L., Lebedeva T. I. Flaxseed, its composition and properties. *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal* [Russian chemical journal], 2002, no. 2, pp. 14–16 (In Russian).
33. Morozova I. M., Mazurova N. N., Morozov I. M. Biochemical composition of oilseeds used in the production of feed products. *Vestnik VGU* [Bulletin of the VSU], 2022, no. 1, pp. 48–53 (In Russian).
34. Pomorova Yu. Yu., Pyatovsky V. V., Beskorovayny D. V., Serova Yu. M., Bolkhovitina Yu. S., Shemet Yu. Y. General chemical and amino acid composition of seeds of the most common oilseeds of the Brassicaceae family. *Maslichnye kul'tury* [Oilseeds], 2021, no. 3, pp. 78–90 (In Russian). DOI: 10.25230/2412-608X-2021-3-187-78-90.
35. Andronik E. L., Snopov A. N., Ivanova E. V. Released and promising oil flax varieties from Belarus. *Maslichnye kul'tury: nauchno-tekhnicheskii byulleten' Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur* [Oilseeds: scientific and technical bulletin of the All-Russian Scientific Research Institute of Oilseeds], 2018, vol. 3, no. 175, pp. 161–164 (In Russian). DOI: 10.25230/2412-608X-2018-3-175-161-164.
36. Silska G., Walkowiak M. Comparative analysis of fatty acid composition in 84 accessions of flax (*Linum usitatissimum* L.). *Journal of Pre-Clinical and Clinical Research*, 2019, vol. 13, no. 3, pp. 118–129. DOI: 10.26444/jpcr/111889.
37. Ostrikov A. N., Kleimenova N. L., Bolgova I. N., Kopylov M. V., Zheltoukhova E. Y. Investigation of the fatty acid and vitamin composition of cold-pressed linseed oil. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food industry], 2020, no. 8, pp. 52–55 (In Russian). DOI: 10.24411/0235-2486-2020-10086.
38. Kamal-Eldina A., Yanishlievab N. V. N-3 fatty acids for human nutrition: stability considerations. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2002, vol. 104, pp. 825–836. DOI: 10.1002/1438-9312(200212)104:123.0.CO;2-N.
39. Gamayurova V. S., Rzhchitskaya L. E. Myths and reality in the food industry. Comparison of the nutritional and biological value of vegetable oils. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Kazan Technological University], 2011, no. 18, pp. 146–155 (In Russian).

40. Mueed A., Shibli S., Korma S. A., Madjirebaye P., Esatbeyoglu T., Deng Z. Flaxseed bioactive compounds: chemical composition, functional properties, food applications and health benefits-related gut microbes. *Foods*, 2022, vol. 11, no. 20, pp. 1–25. DOI: 10.3390/foods11203307.
41. Murphy P. A., Hendrich S. Phytoestrogens in foods. *Adv. Food Nutr.*, 2002, vol. 44, pp. 195–246. DOI: 10.1016/S1043-4526(02)44005-3.
42. Eliasson C., Kamal-Eldin A., Andersson R., Aman P. High-performance liquid chromatographic analysis of secoisolariciresinoldiglycoside and hydroxycinnamic acid glucosides in flaxseed by alkaline extraction. *J. Chromatography A*, 2003, vol. 1012, no. 1, pp. 151–159. DOI: 10.1016/S0021-9673(03)01136-1.
43. Mazur W. Phytoestrogen content in foods. *Bailliere's clinical endocrinology and metabolism*, 1998, vol. 12, pp. 729–742. DOI: 10.1016/S0950-351X(98)80013-X.
44. Leontiev V. N. Oilseed flax as a source of lignans for the production of phytopreparations with anti-allergenic and antioxidant activity. *Netraditsionnye prirodnyye resursy, innovatsionnye tekhnologii i produkty: sbornik nauchnykh trudov* [Non-traditional natural resources, innovative technologies and products: a collection of scientific papers], 2007, no. 15, pp. 120–125 (In Russian).
45. Mazur W. Isotope dilution gas chromatographic-mass spectrometric method for the determination of isoflavonoidscoumestrol and lignans in food samples. *Anal. Biochem*, 1996, vol. 233, pp. 169–180. DOI: 10.1006/abio.1996.0025.
46. Kraushofer T., Sontag G. Determination of matairesinol in flax seed by HPLC with coulometric electrode array detection. *Journal of Chromatography B*, 2002, vol. 777, pp. 61–66. DOI: 10.1016/S1570-0232(01)00577-3.
47. Milder I. E., Feskens E. J., Arts I. C., Bueno de Mesquita H. B., Hollman P. C., Kromhout D. Intake of the plant lignans secoisolariciresinol, matairesinol, lariciresinol, and pinoresinol in Dutch men and women. *Journal Nutr.*, 2005, vol. 135, no. 5, pp. 1202–1207. DOI: 10.1093/jn/135.5.1202.
48. Mazur W., Adlercreutz H. Natural and anthropogenic environmental oestrogens: the scientific basis for risk assessment, naturally occurring oestrogens in food. *Pure and Applied Chemistry*, 1998, vol. 70, pp. 1759–1776. DOI: 10.1351/pac199870091759.
49. Kudinov, P. I., Shchekoldina T. V., Sliz'ka A. S. The current state and structure of the world's vegetable protein resources. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya* [News of universities. Food technology], 2012, no. 4, pp. 124–130 (In Russian).
50. Manzhosov V. I., Churikova S. Yu., Kurchaeva E. E. Obtaining protein products from non-traditional sources and prospects for their use. *Sovremennyye naukoemkiye tekhnologii* [Modern high-tech technologies], 2013, no. 8, part 2, pp. 316–317 (In Russian).
51. Kompantsev, D. V., Popov A. V., Privalov I. M., Stepanova E. F. Protein isolates from vegetable raw materials: a review of the current state and analysis of the prospects for the development of technology for the production of protein isolates from vegetable raw materials. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2016, no. 1, pp. 58–69 (In Russian).
52. Shcherbakov E. V. *Primeneniye biotekhnologicheskikh metodov pri pererabotke rastitel'nogo maslichnogo syr'ya* [Application of biotechnological methods in the processing of vegetable oilseeds]. Krasnodar, Rizoграф Publ., 2006, 288 p. (In Russian).
53. Shcherbakov V. G., Lobanov V. G., Minakova A. D. *Belki maslichnykh semyan* [Proteins of oilseeds]. Krasnodar, KubSTU Publ., 2010. 185 p. (In Russian).
54. Voronova N. S., Beredina L. S. The study of flax seed proteins as full-fledged and necessary for human health. *Molodoy uchenyy* [A young scientist], 2015, no. 14, pp. 144–147 (In Russian).
55. Tsyganova T. B., Minevich I. E., Osipova L. L. Flaxseed polysaccharides: practical application. *Teoreticheskiye aspekty khraneniya i pererabotki sel'hozproduktov* [Theoretical aspects of storage and processing of farm products], 2019, no. 2, pp. 24–36 (In Russian). DOI: 10.36107/spfp.2019.151.
56. Mukhanova M. A., Yakubova O. S., Bekisheva A. A., Aizatulina N. R. Guar comparative characteristics and prospects of their use for sauces gelation. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food industry], 2021, vol. 6, no. 3, pp. 58–68 (In Russian). DOI: 10.29141/2500-1922-2021-6-3-7.
57. Minevich I. E., Osipova L. L., Nechiporenko A. P., Smirnova E. I., Melnikova M. I. Features of the process of extraction of mucus polysaccharides from flax seeds. *Nauchnyy zhurnal NIU ITMO* [ITMO Research Institute] journal, 2018, no. 2, pp. 3–11 (In Russian). DOI: 10.17586/2310-1164-2018-11-2-3-11.
58. Yang J., Choi Y. J., Hahn J. Development of flaxseed gum/konjac glucomannan with agar as gelling agents with enhanced elastic properties. *Food Science and Biotechnology*, 2023, vol. 32, no. 2, pp. 181–192. DOI: 10.20944/preprints202104.0189.v1.
59. Korus J., Witzczak T., Ziobro R., Juszczak L. Linseed (*Linum usitatissimum* L.) mucilage as a novel structure forming agent in gluten-free bread. *Food Science and Technology*, 2015, vol. 62, no. 1, pp. 257–264. DOI: 10.1016/j.lwt.2015.01.040.

60. Puligundla P., Lim S. A review of extraction techniques and food applications of flaxseed mucilage. *Foods*, 2022, vol. 11, p. 1677. DOI: 10.3390/foods11121677.
61. Akl E. M., Abdelhamid S. M., Wagdy S. M., Salama H. H. Manufacture of functional fat-free cream cheese fortified with probiotic bacteria and flaxseed mucilage as a fat replacing agent. *Current Nutrition & Food Science*, 2020, vol. 16, no. 9, pp. 1393–1403. DOI: 10.2174/1573401316666200227112157.
62. Yang K., Xu R., Xu X., Guo Q. Role of flaxseed gum and whey protein microparticles in formulating low-fat model mayonnaises. *Foods*, 2022, vol. 11, no. 3, p. 282. DOI: 10.3390/foods110302825.
63. Lai K. W., Ghazali H. M., How Y. H., Pui L. P. Preliminary evaluation of potential prebiotic capacity of selected legumes and seed mucilage on the probiotic strain *Lactobacillus rhamnosus* GG. *Asia-pacific Journal of Molecular Biology and Biotechnology*, 2021, vol. 29, no. 1, pp. 60–72. DOI: 10.35118/apjmbb.2021.029.1.07.
64. Tee Y. B., Wong J., Tan M. C., Talib R. A. Development of edible film from flaxseed mucilage. *BioResources*, 2016, vol. 11, no. 4, pp. 10 286–10 295. DOI: 10.15376/biores.11.4.10286-10295.
65. Tee Y. B., Tee L. T., Daengprok W., Talib R. A. Chemical, physical, and barrier properties of edible film from flaxseed mucilage. *BioResources*, 2017, vol. 12, no. 3, pp. 6656–6664. DOI: 10.15376/biores.12.3.6656-6664.
66. Zelentsov C. V., Moshnenko E. V. Quantitative and qualitative assessment of mucus of oilseed flax *Linum usitatissimum* L. *Maslichnyye kul'tury: nauchno-tekhnicheskiiy byulleten' Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur* [Oilseeds: scientific and technical bulletin of the All-Russian Scientific Research Institute of Oilseeds], 2012, no. 2, pp. 95–102 (In Russian).
67. Kireeva M. S. *Funktsional'no-tekhnologicheskkiye svoystva semyan l'na i razrabotka tekhnologii muchnykh konditerskikh izdeliy specializirovannogo naznacheniya na ikh osnove. Dissertatsiya kandidata tekhnicheskikh nauk* [Functional and technological properties of flax seeds and the development of technology for flour confectionery products for specialized purposes based on them. Dissertation PhD (Engineering)]. St. Petersburg, 2014, 113 p. (In Russian).
68. Cui W., Mazza G. Physico-chemical characteristics of flaxseed gum. *Food Research International*, 1996, vol. 29, pp. 397–402. DOI: 10.1016/0963-9969(96)00005-1.

#### Информация об авторах

**Захарчук Дарья Дмитриевна** – аспирант кафедры химической переработки древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: bekzarichya@gmail.com

**Болтовский Валерий Станиславович** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры химической переработки древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: v-boltovsky@rambler.ru

#### Information about the authors

**Zakharchuk Daria Dmitrievna** – PhD student, the Department of Chemical Processing of Wood. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: bekzarichya@gmail.com

**Boltovsky Valery Stanislavovich** – DSc (Engineering), Professor, Professor, the Department of Chemical Processing of Wood. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: v-boltovsky@rambler.ru

Поступила 25.05.2024