

Научная статья

УДК 665.11

DOI: 10.17586/2310-1164-2025-18-1-44-53

## Особенности ферментативной обработки масличного сырья с целью выделения белка и липидов для использования в пищевых продуктах специализированного и детского питания

Л.В. Гапонова\*, Т.А. Полежаева, Г.А. Матвеева

ВНИИЖиров, Россия, Санкт-Петербург  
\*lilia.gaponova@yandex.ru

**Аннотация.** Осуществляли подбор ферментных препаратов для ферментативного гидролиза масличных семян с целью одновременного извлечения белковой и липидной фракции в щадящих условиях. Объектами изучения являлись измельченные семена сои и подсолнечника. Для оценки физико-химических показателей сырья использовали стандартные методики. Исследовано влияние ферментов (целлюлазы грибного происхождения из штамма *Trichoderma reesei*, пектиназы грибного происхождения из штаммов *Aspergillus niger* и *Trichoderma longibrachiatu* и протеазы бактериального происхождения из штамма *Bac. subtilus*) и установлены оптимальные режимы подготовки масличных семян и параметры ферментативной обработки (гидромодуль 1:8÷1:9; доза фермента 0,03÷0,05% от массы субстрата; температура 50–60°C; продолжительность 4–6 ч; активная кислотность 4,8–6,0; степень измельчения семян масличных 100–180 мкм), позволяющие добиться максимального выхода белковой и липидной фракции из шелушенных и измельченных семян сои и подсолнечника. Доказано, что использование полученных режимов измельчения и ферментативной обработки масличного сырья дает значительное увеличение выхода масла и белка.

**Ключевые слова:** биотехнология; переработка жиров и масел; водно-ферментативное экстрагирование; технология извлечения белка и масла; семена масличных

---

Original article

## Peculiarities of enzymatic processing of oilseeds to isolate protein and lipids for use in specialized and baby food products

Lilia V. Gaponova\*, Tatiana A. Polezhaeva, Galina A. Matveeva

All-Russian Scientific Research Institute of Fats, St. Petersburg, Russia  
\*lilia.gaponova@yandex.ru

**Abstract.** In this study, the selection of enzyme preparations for the enzymatic hydrolysis of oilseeds was carried out and the effect of technological parameters of enzymatic treatment on the yield of protein and lipid fractions was investigated. The objects of study were ground soybean and sunflower seeds. Standard methods were used to evaluate the physico-chemical parameters of raw materials. As a result of the research, enzyme preparations were selected (cellulases of fungal origin from *Trichoderma reesei*; pectinases of fungal origin *Aspergillus niger* and *Trichoderma longibrachiatu*; and proteases of bacterial origin from *Bac. subtilus*) and optimal modes of preparation of oilseeds and parameters of enzymatic treatment were established (hydromodule 1:8÷1:9, the enzyme/substrate ratio 0.03÷0.05%; temperature 50–60°C, duration 4–6 hours, active acidity 4.8–6.0, and the degree of grinding of oilseeds 100–180 microns), allowing to achieve the maximum yield of protein and lipid fractions from the studied oilseeds. It is proved that the use of the above-mentioned modes of grinding and enzymatic processing of oilseeds provides a significant increase in the yield of oil and protein.

**Keywords:** biotechnology; processing of fats and oils; water-enzymatic extraction; technology for extraction of protein and oil; oilseeds

---

## Введение

Получение белковой и липидной фракции повышенной биологической ценности из семян масличных с сохранением нативных полезных веществ и функциональных свойств является важной проблемой масложировой промышленности. Одним из вариантов решения данной задачи может стать разработка и внедрение технологий ферментативного гидролиза масличных препаратами гидролаз и протеаз, модифицирующих клеточную структуру масличного сырья и способствующих выходу масла и белка из семян с последующим разделением полученной белково-жировой эмульсии на липидную и протеиновую фракции. Традиционные технологии гидратации и щелочной рафинации масел

значительно уступают инновационным технологиям ферментативного гидролиза, поскольку первые не всегда обеспечивают достаточную полноту извлечения примесей и связаны с существенными потерями сырья и отходами жиров (масел). Для промышленной переработки масличного сырья используют механический отжим и экстракцию растворителем. Оба этих процесса вызывают денатурацию протеинов, тем самым снижая растворимость экстрагированного белка и ограничивая возможность его использования в пищевых продуктах.

Ферментативная обработка масличного сырья – современная технология, которая делает возможным извлечение белков и липидов без снижения биологической ценности и потери функциональных свойств, поскольку осуществляется, как правило, в температурном диапазоне от 25 до 70°C в водной среде. Это экологически чистая технология, так как экстрагентом полезных веществ из растительного сырья служит вода, а эмульсия образуется в следствии диффузии водорастворимых веществ в водную среду [1]. На последующей стадии для выделения масла требуется деэмульгирование (дестабилизация) образовавшейся эмульсии, что достигается использованием соответствующих ферментов (например, протеаз) или применением экологически чистых растворителей [2].

Сравнительная характеристика водно-ферментативного экстрагирования и экстракции растворителем с точки зрения сохранения нативных веществ, безопасности и экологичности приведена в таблице 1.

*Таблица 1. Сравнительная характеристика водно-ферментативной экстрагирования и экстракции растворителем с точки зрения сохранения нативных веществ, безопасности и экологичности*  
*Table 1. Comparison of water-enzymatic extraction and solvent extraction in terms of native matter preservation, safety and environmental friendliness*

Параметр	Экстракция растворителем	Водно-ферментативное экстрагирование
природа процесса	вредное воздействие на окружающую среду	экологически безопасная технология
токсичность	н-Гексан токсичен	отсутствие токсичности
энергетические затраты	энергоёмкий процесс	низкие энергетические затраты
качество продуктов (масла, белка, фосфолипидов и др.)	ухудшение качества из-за воздействия высоких температур	сохранение нативных свойств извлекаемых соединений
гидратация	требуется для удаления фосфолипидов	не требуется

Способ одновременного получения масла и белка из семян с использованием ферментативного гидролиза позволяет выделять биологически ценные вещества без изменения нативных свойств, в том числе белки и липиды из различных видов сырья растительного происхождения, включая семена бахчевых. Полученные по данной технологии масла и белковые концентраты должны, в первую очередь, использоваться в продуктах лечебно-профилактического и детского питания (сухие питательные смеси с изолятами растительных белков; смеси для коктейлей и мороженого; сухие злаковые концентраты; полуфабрикаты для детского и специализированного питания; смеси растительных масел, обогащенные витаминами) [3].

Во ВНИИЖиров разработаны основы технологии одновременного получения масла и белка методом водного экстрагирования с применением биотехнологических подходов [4]. Ее недостатком является как применение экспериментальных отечественных ферментных препаратов, которые не позволяют получать белковые продукты с заданными свойствами, так и отсутствие необходимого промышленного оборудования [3]. Сегодня исследования в данной области продолжены в направлении использования новых видов и сортов масличного сырья и промышленно выпускаемых ферментных препаратов комплексного действия с целью оптимизации процесса одновременного извлечения белковой и липидной фракции из семян масличных методом водного экстрагирования [5–8].

В международном научном сообществе активно разрабатываются инновационные биотехнологические подходы к решению вопросов глубокой переработки масличного и зернового сырья с целью снизить экологическую нагрузку на окружающую среду и максимально использовать перерабатываемое сырье для получения продуктов питания, пищевых ингредиентов, а также продуктов медицинского и косметологического назначения, [9, 10].

Исследователи всего мира ищут пути экстрагирования белков, липидов, углеводов из растительного и животного сырья на макро- и микромолекулярном уровне с использованием «зеленых» и глубоких эвтектических растворителей, ферментов, сверхкритической экстракции CO<sub>2</sub> на основе жидкостной хроматографии масс-спектрометрии. В некоторых работах [10, 11] для повышения эффективности извлечения белков и липидов совмещаются несколько методов, в том числе с применением ультразвука и микроволн и мембранных технологий. Сложность разрушения клеточных стенок и межмолекулярные связи не позволяют одновременно извлечь липиды и сохранить нативную структуру белков. Для промышленного извлечения липидов и белков применяются классические методы органическими растворителями с последующим выделением белковых концентратов или изолятов с использованием щелочно-кислотной экстракции. С развитием биотехнологии исследователи все чаще ищут пути одновременного извлечения масла, белка и углеводного комплекса без дополнительного температурного и иных методов воздействия, приводящих к разрушению нативных компонентов с выделением и восстановлением органических или эвтектических растворителей.

Применение ферментативной обработки сырья, совмещенной с водным экстрагированием, позволяет получать очищенное масло и нативные белки, так как ферменты инактивируются при температуре 75–100°C, что исключает образование комплексов при обработке органическими и эвтектическими растворителями. Однако необходимо избежать побочного воздействия ферментов – возможные изменения цвета и вкуса получаемых продуктов. Следует изучить влияние технологических факторов (длительное проведение ферментации, pH среды, измельчение сырья, температура, интенсивность перемешивания эмульсии, подбор и разработка адекватного современного специализированного оборудования), поскольку неправильный выбор параметров и режимов может привести к окислению липидов, потере функциональных свойств белковых компонентов и к сложности выделения белковой и липидной фракции при дестабилизации образующейся при ферментативном гидролизе эмульсии.

Цель настоящего исследования – определить влияние ферментов (целлюлаз, пектиназ и протеаз) на полисахаридный, белковый и липидный состав семян сои и подсолнечника. Для ее реализации решались задачи по подбору сырья и ферментных препаратов для ферментативного гидролиза, отработке технологии одновременного получения масла и белка из измельченных семян сои и подсолнечника с оптимизацией технологических параметров, позволяющих получить максимальный выход липидной и белковой фракции повышенной биологической ценности из масличного сырья.

### **Теоретическое обоснование**

Ферменты являются идеальным катализатором для извлечения, модификации или синтеза сложных биологически активных соединений природного происхождения. Экстракция с помощью ферментов основана на их способности катализировать реакции с исключительной специфичностью и в проявлении функциональных свойств в мягких условиях обработки в водных растворах [12]. Эффективность работы фермента обусловлена его специфичностью, активностью, происхождением, кислотностью и температурой среды, соотношением фермента и субстрата [13].

При работе с ферментами требуется соблюдать ряд правил:

- поддерживать оптимальную температуру и pH среды, способствующих максимальной активности фермента, что обеспечивается регулярной проверкой температурных датчиков и ежесменной калибровкой pH-метра по чистым растворам;
- измельчать и дробить материал, подлежащий ферментативной обработке, поскольку увеличение площади поверхности повышает степень доступности молекул субстрата для действия фермента;
- контролировать расход фермента с целью установления его оптимальной дозы для конкретных параметров технологического процесса и используемого сырья, причем при автоматической дозировке ферментного препарата следует сверить действительный расход с показаниями системы и проверить какой фермент дозирует система [14].

Эффективность действия ферментных препаратов обуславливается множеством факторов, влияющих друг на друга. Определяющими являются физико-химические показатели растительного сырья, технологические режимы, характеристики конечных продуктов.

В таблице 2 приведены основные виды ферментов, используемые для ферментации масличного сырья, оптимальная область работы фермента и его назначение.

Таблица 2. Основные виды и назначение ферментов в технологиях переработки масличного сырья  
Table 2. Main types and purpose of enzymes in oilseed processing technologies

Название фермента	Оптimum действия		Назначение фермента
	t°C	pH	
бактериальная протеаза	50–60	6,5–10,0	гидролиз белков до пептидов с различной молекулярной массой; используется при выделении масла и белка, в том числе при их одновременном выделении для дестабилизации образующейся белково-жировой эмульсии
бета-глюканаза, целлюлаза и ксиалаза грибного происхождения	50–65	3,5–4,5	гидролиз некрахмальных полисахаридов: бета-глюканов (в злаках), целлюлоз и гемицеллюлоз (для разрушения клеточных стенок при извлечении масла и белка из масличного сырья и снижения выхода нерастворимого остатка при получении зернобобовой основы).
пектиназа грибного происхождения	40–50	3,5–5,5	для гидролиза пектина, входящего в состав оболочки семян масличных и бобовых для более эффективного выделения масла и белка, в том числе при их одновременном выделении

Выбор ферментного препарата обусловлен следующими факторами: составом и структурой растительного сырья, его подготовкой (для семян масличных – шелушение и измельчение), технологическими режимами ферментации (температура, давление, продолжительность, реакция среды).

При ферментации масличного сырья с повышенным содержанием белка (например, соя) помимо целлюлазолитических ферментов, разрушающих клеточные стенки ткани растений, рекомендуется использование протеаз (в т. ч. алкалазы, щелочной протеазы) с целью дестабилизации эмульсии, полученной в ходе ферментативной обработки [15–17]. Увеличение выхода масла (до 85,9%) для семян рапса обусловлено применением пектиназы при водно-ферментативной экстракции, что объясняется высоким содержанием пектина в клеточной стенке. При использовании комбинированного ферментного препарата полигалактуразы, альфа-амилазы и протеазы для ферментативной обработки мякоти кокоса достигнут 80%-й выход липидной фракции [14, 18].

В таблице 3 приведены основные виды ферментов, используемых для водно-ферментативной экстракции масличного сырья, обеспечивающие эффективное выделение липидной фракции из семян и плодов масличных культур.

Таблица 3. Основные классы ферментов для водно-ферментативного экстрагирования различных видов масличного сырья

Table 3. Main classes of enzymes for aqueous-enzymatic extraction of various oilseeds

Масличное сырье	Используемые ферменты
пальма	комбинация пектиназы, целлюлазы и танназы или танназа
арахис	алкалаза (щелочная протеаза) или комбинация целлюлазы и протеазы
рапс	пектиназа или комбинация пектиназы, целлюлазы и бета-глюканазы в соотношении 4:1:1
соя	алкалаза (щелочная протеаза) или комбинация целлюлазы и протеазы
подсолнечник	целлюлаза и гемицеллюлаза и комбинация их с протеазами
кокос	комбинация бета-глюканазы, пектиназы, альфа-амилазы и протеазы
авокадо	альфа-амилаза

## Объекты и методы исследований

Объектами исследования являлись 16 (8+8) образцов (для исследования использовали торговые смеси, так как на заводах не используются семена одного сорта) измельченных в водной среде семян подсолнечника (Мукомлофф, Россия) и сои (магазин Терем Здравия, Россия) – 90; 100; 120; 150; 180; 200; 220 и 250 мкм с гидромодулем 1:9; гидролизаты подсолнечника и сои (по отдельности); фазы гидролизатов подсолнечника и сои после центрифугирования на трехфазной декантерной центрифуге DDI (Haus, Турция); ферментные препараты: целлюлаза грибного происхождения из штамма

*Trichoderma reesei* (Биопрепарат, Россия), Rapidase Fiber – пектиназа грибного происхождения из штаммов *Aspergillus niger* и *Trichoderma longibrachiatu* с целлюлозолитической и ксиланазной активностью (dsm-firmenich, Нидерланды); Maxipro NPU – протеаза бактериального происхождения из штамма *Bacillus amyloliquefaciens* (dsm-firmenich, Нидерланды).

Выбор ферментных препаратов обусловлен необходимостью разрушения клеточных стенок и облегчения выхода белка и масла в экстрагент.

В таблице 4 представлен углеводный состав сырья, применяемые ферментные препараты и соответствующие им режимы ферментативного экстрагирования. Подбор ферментных препаратов осуществляли исходя из вида сырья и его углеводного состава. При ферментативной обработке сои использование протеаз обусловлено необходимостью дестабилизации образующейся эмульсии из-за высокого содержания белка в сырье.

Таблица 4. Подбор ферментов для ферментативной обработки зерновых и бобовых в зависимости от углеводного состава сырья

Table 4. Selection of enzymes for enzymatic processing of cereals and legumes depending on the carbohydrate composition of raw materials

Вид сырья	Углеводный состав сырья, %	Использованные ферменты и источник получения	Режим ферментативной обработки		
			t, °C	время, ч	pH
шелушенные, измельченные семена сои	всего 9–12%, из них: 1% рафиноза 3,8% стахиоза 3–5% сахароза 3–6% клетчатка 3,5% крахмал 6,3% гемицеллюлоза 4,3% клетчатка	рапидаза (грибная пектиназа и целлюлаза из штаммов <i>Aspergillus niger</i> и <i>Trichoderma longibrachiatu</i> );	50,0–55,0	2,0	5,0–6,8
		целлюлаза (грибная из штамма <i>Trichoderma reesei</i> )	60,0–65,0	2,0–4,0	4,3–5,5
		целлюлаза (грибная из штамма <i>Trichoderma reesei</i> ) + протеаза (бактериальная из штамма <i>Bac.subtilis</i> )	55,0–60,0	4,0–6,0	5,0–5,5
измельченное ядро подсолнечника	всего 12–14%, из них: 0,1% фруктоза 0,4% рафиноза 0,3% стахиоза 1,8–5,8% клетчатка; также содержит лигнин, гемицеллюлозу и целлюлозу	целлюлаза (грибная из штамма <i>Trichoderma reesei</i> )	55,0–60,0	4,0–6,0	4,3–4,5

Методы исследования соответствовали государственным стандартам:

- ✓ содержание сухих веществ в сырье и экстракционных фазах определяли методом высушивания – ГОСТ Р 54705 и ГОСТ 31640;
- ✓ каталитическую активность целлюлазы, протеазы и пектиназы определяли по стандартным методикам (с использованием двух субстратов: хроматографической бумаги и натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы – ГОСТ 31662-2012; в качестве субстрата использовали гемоглобин – ГОСТ 34430–2018; с количественным определением продуктов гидролиза пектина, не осаждаемых сернокислым цинком – ГОСТ Р 55298–2012);
- ✓ определение содержания белка в сырье и нерастворимом остатке проводили методом спектроскопии в ближней инфракрасной области – ГОСТ 32749 и методом Кьельдаля – ГОСТ 32044.1;
- ✓ содержание масла в сырье и экстракционных фазах определяли методом спектроскопии в ближней инфракрасной области – ГОСТ 32749 и методом определения массы сырого жира по обезжиренному остатку и извлеченному сырому жиру – ГОСТ 13496.15;
- ✓ степень измельчения семян сои и подсолнечника определяли методом рассева на лабораторных ситах – ГОСТ 27560-87.

## Результаты и их обсуждение

На рисунке приведена схема одновременного получения масла и белка из семян масличных (физико-химический состав приведен в таблице 5) по модифицированной в настоящее время технологии ВНИИЖиров. В качестве оборудования для разделения проэкстрагированной и ферментированной суспензии на три фазы (эмульсия, надосадочная жидкость и нерастворимый остаток) в данном исследовании в опытно-промышленном производстве использовали трехфазную декантерную центрифугу, отвечающую по своим параметрам технологии одновременного извлечения масла и белка. Масличное сырье, семена сои и подсолнечника измельчали в водной среде при температуре 50–55°C до частиц размером 100–200 мкм, в полученную суспензию вносили ферменты. В отличие от технологии, предложенной в 1997 году [4], изменились виды используемых ферментных препаратов. Взамен целлюлазы П10Х для ферментативного гидролиза семян сои использовали промышленные ферменты либо рапидазу или целлюлазу, либо комбинацию целлюлазы и протеазы в соотношении 3:1, а для ферментативной обработки семян подсолнечника применяли целлюлазу. Параметры обработки так же были изменены и приближены к оптимальным для выбранных ферментных препаратов: гидромодуль (1:8÷1;9), доза фермента 0,03÷0,05% от массы субстрата, температура 50–60°C, продолжительность 4–6 ч, активная кислотность 4,8–6,0. В отличие от запатентованной ранее технологии в настоящих исследованиях, помимо семян сои, используются также семена подсолнечника.

Экстрагирование проводили в оптимальной области работы в зависимости от вида ферментов: температура 50–60°C; значение рН = (4,8–6,0). По окончании экстракционную смесь разделяли на три фракции на трехфазной декантерной центрифуге: масло, водная фракция, нерастворимый остаток. Масло декантировали, а нерастворимый остаток отделяли от водной фазы. Нерастворимый остаток, являющийся белковым концентратом, подавали на сушку после предварительной нейтрализации, либо обрабатывали кислыми протеазами или подвергали дополнительной очистке для получения изолята белка.



Рисунок – Схема одновременного получения масла и белка из семян масличных по модифицированной технологии, разработанной ВНИИЖиров

Figure. Simultaneous oil and protein extrication from oilseeds using the innovative technology developed by All-Russian Scientific Research Institute of Fats

Таблица 5. Состав исходного масличного сырья  
Table 5. Chemical composition of oilseeds

Наименование масличного сырья	Содержание в %				
	сухие вещества	белок	белок на а.с.в.	жир	жир на а.с.в.
семена сои (торговая смесь)	92,58	34,89	37,69	24,00	25,92
семена подсолнечника (торговая смесь) [20]	95,64	27,65	28,91	51,30	53,64

В таблице 6 приведен пример осуществления процесса одновременного получения масла и белка. Ставилась задача установить зависимость выхода масла и белка от степени измельчения исходного сырья. В качестве образцов использовали семена сои (торговая смесь), которые измельчали в водной среде на диспергаторе типа ПРГ (ПетербургНИИХимМаш, Россия) в течение 15 мин, затем в образовавшуюся водную суспензию вносили ферменты целлюлаза (грибная из штамма *Trichoderma reesei*) + протеаза (бактериальная из штамма *Bac.subtilis*) и проводили водно-ферментативное экстрагирование при следующих параметрах: гидромодуль 1:8÷1;9, доза фермента (0,03÷0,05)% от массы субстрата; температура (55–60)°С, рН = (5,0–5,5); продолжительность 5 ч. Данные, представленные в таблице 6, показывают, что измельчение масличного сырья в водной среде до частиц размеров (100–180) мкм дает значительное увеличение выхода масла и белка в нерастворимом остатке. При степени измельчения ниже 100 мкм или выше 180 мкм выход масла и белка в нерастворимом остатке снижается, а выход белка в водной фракции увеличивается, так как альбуминовая фракция белка переходит в водную фазу. Степень измельчения в эксперименте регулировали съемными роторами.

Таблица 6. Зависимость выхода масла и белка из семян сои от степени их измельчения  
Table 6. Dependence of oil and protein yield from soyabeans on the degree of grinding

Эксперимент	Степень измельчения, мкм	Выход масла от общего содержания в семенах, %	Белок в нерастворимом остатке, на а.с.в. от общего содержания в семенах, %	Белок в водной фракции, на а.с.в. от общего содержания в семенах, %
1	90	85,7	58,4	41,6
2	100	93,4	73,5	26,5
3	120	95,6	75,7	24,3
4	150	93,5	74,5	25,5
5	180	93,0	70,5	29,5
6	200	92,4	64,0	26,0
7	220	85,0	50,3	49,7
8	более 220	63,63	40,6	59,4

Подводя итог, можно сделать вывод, что помимо правильного выбора вида ферментного препарата, основными факторами, влияющими на степень извлечения липидной фракции из семян масличных, являются:

- предварительное шелушение и измельчение растительного сырья для разрушения клеточных компонентов и высвобождения масла и увеличения доступности субстрата для фермента [4, 18];
- активная кислотность, соответствующая максимальной активности фермента [19];
- температура ферментативной обработки, которая, с одной стороны, должна соответствовать оптимальной области работы фермента, а с другой – не приводить к изменению свойств масличного сырья (денатурация белка, окисление и др.) [20];
- соотношение фермента и субстрата, которое должно обеспечивать насыщение активных центров субстрата, причем избыток фермента может приводить к ухудшению органолептических показателей продуктов ферментативной обработки, а также повысить их себестоимость из-за относительно высокой стоимости ферментных препаратов [21];
- оптимальное значение гидромодуля (соотношения масличного сырья и воды), поскольку в излишне густой суспензии действие фермента затруднено, а при сильном разбавлении его активность и скорость реакции могут снижаться;

- выбор оптимального режима встряхивания и перемешивания, поскольку для осуществления ферментации равномерное перемешивание ферментируемой суспензии является необходимым, но, в то же время, слишком интенсивное воздействие повышает стабильность образующейся эмульсии и увеличивает энергозатраты производства [22];
- правильно подобранные сорта масличных культур [23].

## Заключение

В результате проведенных исследований подобраны и отработаны технологические режимы в зависимости от имеющихся в настоящее время ферментных препаратов, предложена трехфазная декантерная центрифуга DDI для разделения образующейся при водно-ферментативном экстрагировании эмульсии. В ходе работы выявлены аспекты, требующие доработки для внедрения в промышленность: автоматизированные ферментеры с определенными параметрами гидролиза, одновременным измельчением и экстракцией сырья, трехфазные декантерные центрифуги с производительностью не менее 15 т/час и регулируемой скоростью разделения.

Выявлена необходимость продолжения исследований по следующим направлениям: подбор сортов исходного сырья в зависимости от содержания масла и белка; выбор новых отечественных и импортных моноферментов и их комбинаций в зависимости от видов сырья, технологических аспектов ферментативной обработки и заданных свойств готовой продукции. Особенностью полученных в результате водно-ферментативного экстрагирования продуктов (масла, белкового изолята и концентрата, углеводного комплекса) является сохранение их биологической ценности (аминокислотный и жирнокислотный состав, перекисное и кислотное число масла) и функциональных свойств белковых продуктов (водоудерживающая, пенообразующая, эмульгирующая, жироудерживающая способности), что позволит после завершения исследований рекомендовать их для использования в рецептурах лечебно-профилактического и детского питания: смеси масел, майонезные соусы, десерты, сухие смеси для приготовления коктейлей и мороженого, ферментированные напитки и высокобелковые продукты на растительной и растительно-молочной основе и др.).

Следует отметить, что эффективное развитие и внедрение инновационных разработок предполагает сотрудничество нескольких заинтересованных сторон, включая ученых, селекционеров, производителей сырья и оборудования, переработчиков сырья.

Результаты исследований показателей энергетической и экологической эффективности будут представлены в следующих публикациях.

## Литература

1. Li Y., Fine F., Fabiano-Tixier A.-S., Abert-Vian M., Carre P., Pages X., Chemat F. Evaluation of alternative solvents for improvement of oil extraction from rapeseeds. *C. R. Chimie*. 2014, V. 17, no. 3, pp. 242–251. DOI: 10.1016/j.crci.2013.09.002
2. Zhang S.B., Wong T. Destabilization of emulsion formed during aqueous extraction of peanut oil: Synergistic effect of tween 20 and pH. *JAOCS*. 2016, V. 93, Is. 11, pp. 1551–1561. DOI: 10.1007/s11746-016-2899-1
3. Гапонова Л.В., Полежаева Т.А., Матвеева Г.А. Основные подходы к разработке продуктов здорового питания на растительной основе с использованием масличного и зернобобового сырья // Инновации в технологии продуктов здорового питания: сб. тр. Калининград: Изд-во Калинингр. гос. техн. ун-та, 2023. Т. 5. С. 44–55.
4. Ключкин В.В., Гапонова Л.В., Константинова О.В., Логвинова Т.Т. Способ одновременного получения масла и белка из масличного сырья: патент 2 091 450 С1 Российская Федерация. 1997. 4 с.
5. Nyam K.L., Tan C.P., Lai O.M., Long K., Che Man Y.B. Physicochemical properties and bioactive compounds of selected seed oils. *LWT – Food Science and Technology*. 2009, V. 42, Is. 8, pp. 1396–1403. DOI: 10.1016/j.lwt.2009.03.006
6. Roy I., Sharma S., Gupta M.N. Smart biocatalysts: design and applications. *Adv Biochem Eng Biotechnol*. 2004, V. 86, pp. 159–189. DOI: 10.1007/b12442
7. Soto C., Concha J., Zuniga M.E. Antioxidant content of oil and defatted meal obtained from borage seeds by an enzymatic-aided cold pressing process. *Process Biochemistry*. 2008, V. 43, no. 6, pp. 696–699. DOI: 10.1016/j.procbio.2008.02.006
8. Latif S., Diosady L.L., Anwar F. Enzyme-assisted aqueous extraction of oil and protein from canola (*Brassica napus* L.) seeds. *Eur J Lipid Sci Technol*. 2008, V. 110, Is. 10, pp. 887–892. DOI: 10.1002/ejlt.200700319

9. Поморова Ю.Ю., Пятовский В.В., Бескоровайный Д.В., Болховитина Ю.С. Характеристика, методы выделения белковой фракции семян основных масличных культур (обзор) // Масличные культуры. 2019. № 4. С. 161–169. DOI: 10.25230/2412-608X-2019-4-180-161-169
10. Saini R.K., Prasad P., Shang X., Keum Y.-S. Advances in lipid extraction methods: A review. *Int J Mol Sci.* 2021, V. 22, article 13643. DOI: 10.3390/ijms222413643
11. Ling J.K.U., Hadinoto K. Deep eutectic solvent as green solvent in extraction of biological macromolecules: A review. *Int J Mol Sci.* 2022, V. 23, article 3381. DOI: 10.3390/ijms23063381
12. Римарева Л.В., Серба Е.М., Соколова Е.Н., Борщева Ю.А., Игнатова Н.И. Ферментные препараты и биокаталитические процессы в пищевой промышленности // Вопросы питания. 2017. Т. 86. № 5. С.63–74.
13. Толкачева А.А., Черенков Д.А., Корнеева О.С., Пономарев П.Г. Ферменты промышленного назначения – обзор рынка ферментных препаратов и перспективы его развития // Вестник Воронеж. гос. ун-та инженер. технол. 2017. Т. 79. № 4. С. 197–203. DOI: 10.20914/2310-1202-2017-4-197-203
14. Kalia V.C., Rashmi L.S, Gupta M.N. Using enzymes for oil recovery from edible seeds. *J Sci Ind Res.* 2001, no. 60, pp. 298–310.
15. Wu J., Johnson L.A. Jung S. Demulsification of oil-rich emulsion from enzyme-assisted aqueous extraction of extruded soybean flakes. *Bioresour Technol.* 2009, no. 100, pp. 527–533. DOI: 10.1016/j.biortech.2008.05.057
16. Rosenthal A., Pyle D.L., Niranjana K., Gilmour S., Trinca L. Combined effect of operational variables and enzyme activity on aqueous enzymatic extraction of oil & protein from soybean. *Enzyme Microb Technol.* 2001, no. 28, pp. 499–509. DOI: 10.1016/S0141-0229(00)00351-3
17. Jung S., Maurer D., Johnson L.A. Factors affecting emulsion stability and quality of oil recovered from enzyme assisted aqueous extraction of soybeans. *Bioresour Technol.* 2009, no. 100, pp. 5340–5347. DOI: 10.1016/j.biortech.2009.03.087
18. Lamsa B.P., Murphy P.A., Johnson L.A. Flaking and extrusion as mechanical treatments for enzyme-assisted aqueous extraction of oil from soybeans. *J Am Oil Chem Soc.* 2006, V. 83, no. 11, pp. 973–979. DOI: 10.1007/s11746-006-5055-5
19. Cater C.M., Rhee K.C., Hagenraier R.O., Mattil K.F. Aqueous extraction—an alternative oilseed milling process. *J Am Oil Chem Soc.* 2004, V. 51, no. 4, pp. 137–140. DOI: 10.1007/BF02639723
20. Lanzani A., Petrini M.C., Cozzoli O., Gallavresi P., Carola C., Jacini G. On the use of enzymes for vegetable-oil extraction, a preliminary report. *Riv Ital Sostanze Grasse.* 2005, V. 11, pp. 226–229.
21. Nyam K.L. Tan.C.P, Lai O.M., Long K., Che Man Y.B. Physicochemical properties and bioactive compounds of selected seed oils. *LWT Food – Sci Technol.* 2009, V. 42, pp. 1396–1403. DOI: 10.1016/J.LWT.2009.03.006
22. Latif S., Diosady L.L., Anwar F. Enzyme-assisted aqueous extraction of oil and protein from canola (*Brassica napus* L.) seeds. *Eur J Lipid Sci Technol.* 2008, V. 110, pp. 887–892. DOI: 10.1002/ejlt.200700319
23. Гапонова Л.В., Гаврилова В.А., Демьяненко Т.Ф., Полежаева Т.А., Матвеева Г.А. Подсолнечник и использование его в безотходной технологии переработки с целью производства продуктов лечебно-профилактического и детского питания // Вестник Воронеж. гос. ун-та инженерных технологий 2021. Т. 83. С. 181–189. DOI: 10.20914/2310-1202-2021-4-181-189

## References

1. Li Y., Fine F., Fabiano-Tixier A.-S., Abert-Vian M., Carre P., Pages X., Chemat F. Evaluation of alternative solvents for improvement of oil extraction from rapeseeds. *C. R. Chimie.* 2014, V. 17, no. 3, pp. 242–251. DOI: 10.1016/j.crci.2013.09.002
2. Zhang S.B., Wong T. Destabilization of emulsion formed during aqueous extraction of peanut oil: Synergistic effect of tween 20 and pH. *JAOCs.* 2016, V. 93, Is. 11, pp. 1551–1561. DOI: 10.1007/s11746-016-2899-1.
3. Gaponova L.V., Polezhaeva T.A., Matveeva G.A. The main approaches to the development of plant-based healthy food products using oilseed, cereals and leguminous raw materials. Innovations in healthy food technology. Collection of Works. Kaliningrad, Kaliningrad State Technical University Publ. 2023, V. 5, pp. 44–55. (In Russian)
4. Klyuchkin V.V., Gaponova L.V., Konstantinova O.V., Logvinova T.T. Method for simultaneously production of fat and protein of oil-yielding raw materials. *Patent RF* no. 2 091 450 C1. 1997.
5. Nyam K.L., Tan C.P., Lai O.M., Long K., Che Man Y.B. Physicochemical properties and bioactive compounds of selected seed oils. *LWT – Food Science and Technology.* 2009, V. 42, Is. 8, pp. 1396–1403. DOI: 10.1016/j.lwt.2009.03.006
6. Roy I., Sharma S., Gupta M.N. Smart biocatalysts: design and applications. *Adv Biochem Eng Biotechnol.* 2004, V. 86, pp. 159–189. DOI: 10.1007/b12442
7. Soto C., Concha J., Zuniga M.E. Antioxidant content of oil and defatted meal obtained from borage seeds by an enzymatic-aided cold pressing process. *Process Biochemistry.* 2008, V. 43, no. 6, pp. 696–699. DOI: 10.1016/j.procbio.2008.02.006
8. Latif S., Diosady L.L., Anwar F. Enzyme-assisted aqueous extraction of oil and protein from canola (*Brassica napus* L.) seeds. *Eur J Lipid Sci Technol.* 2008, V. 110, Is. 10, pp. 887–892. DOI: 10.1002/ejlt.200700319

9. Pomorova Yu. Yu., Petrovsky V. V., Beskorovayny D. V., Bolkhovitina Yu. S. Characterization and methods of isolation of the protein part of the seeds of the most important oil crops (review). *Oil Crops*. 2019, no. 4, pp. 161–169. DOI: 10.25230/2412-608X-2019-4-180-161-169 (In Russian)
10. Saini R.K., Prasad P., Shang X., Keum Y.-S. Advances in lipid extraction methods: A review. *Int J Mol Sci*. 2021, V. 22, article 13643. DOI: 10.3390/ijms222413643
11. Ling J.K.U., Hadinoto K. Deep eutectic solvent as green solvent in extraction of biological macromolecules: A review. *Int J Mol Sci*. 2022, V. 23, article 3381. DOI: 10.3390/ijms23063381
12. Rimareva L.V., Serba E.M., Sokolova E.N., Borshcheva Yu.A., Ignatova N.I. Enzyme preparations and biocatalytic processes in the food industry. *Problems of Nutrition*. 2017, V. 86, no. 5, pp. 62–74. (In Russian)
13. Tolkacheva A.A., Cherenkov D.A., Korneeva O.S., Ponomarev P.G. Enzymes of industrial purpose – review of the market of enzyme preparations and prospects for its development. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2017, V. 79, no. 4, pp. 197–203. DOI: 10.20914/2310-1202-2017-4-197-203 (In Russian)
14. Kalia V.C., Rashmi L.S., Gupta M.N. Using enzymes for oil recovery from edible seeds. *J Sci Ind Res*. 2001, no. 60, pp. 298–310.
15. Wu J., Johnson L.A., Jung S. Demulsification of oil-rich emulsion from enzyme-assisted aqueous extraction of extruded soybean flakes. *Bioresour Technol*. 2009, no. 100, pp. 527–533. DOI: 10.1016/j.biortech.2008.05.057
16. Rosenthal A., Pyle D.L., Niranjana K., Gilmour S., Trinca L. Combined effect of operational variables and enzyme activity on aqueous enzymatic extraction of oil & protein from soybean. *Enzyme Microb Technol*. 2001, no. 28, pp. 499–509. DOI: 10.1016/S0141-0229(00)00351-3
17. Jung S., Maurer D., Johnson L.A. Factors affecting emulsion stability and quality of oil recovered from enzyme assisted aqueous extraction of soybeans. *Bioresour Technol*. 2009, no. 100, pp. 5340–5347. DOI: 10.1016/j.biortech.2009.03.087
18. Lamsa B.P., Murphy P.A., Johnson L.A. Flaking and extrusion as mechanical treatments for enzyme-assisted aqueous extraction of oil from soybeans. *J Am Oil Chem Soc*. 2006, V. 83, no. 11, pp. 973–979. DOI: 10.1007/s11746-006-5055-5
19. Cater C.M., Rhee K.C., Hagenraier R.O., Mattil K.F. Aqueous extraction – an alternative oilseed milling process. *J Am Oil Chem Soc*. 2004, V. 51, no. 4, pp. 137–140. DOI: 10.1007/BF02639723
20. Lanzani A., Petrini M.C., Cozzoli O., Gallavresi P., Carola C., Jacini G. On the use of enzymes for vegetable-oil extraction, a preliminary report. *Riv Ital Sostanze Grasse*. 2005, V. 11, pp. 226–229.
21. Nyam K.L., Tan C.P., Lai O.M., Long K., Che Man Y.B. Physicochemical properties and bioactive compounds of selected seed oils. *LWT Food – Sci Technol*. 2009, V. 42, pp. 1396–1403. DOI: 10.1016/J.LWT.2009.03.006
22. Latif S., Diosady L.L., Anwar F. Enzyme-assisted aqueous extraction of oil and protein from canola (*Brassica napus* L.) seeds. *Eur J Lipid Sci Technol*. 2008, V. 110, pp. 887–892. DOI: 10.1002/ejlt.200700319
23. Gaponova L.V., Gavrilova V.A., Demianenko T.F., Polezhaeva T.A., Matveeva G.A. Sunflower and its use in waste-free processing technology for the production of therapeutic preventive and baby nutrition. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2021, V. 83, no. 4, pp. 181–189. DOI: 10.20914/2310-1202-2021-4-181-189. (In Russian)

#### Информация об авторах

Лилия Валентиновна Гапонова – канд. техн. наук, завотделом лечебно-профилактического и детского питания  
Татьяна Андреевна Полежаева – канд. техн. наук, научный сотрудник  
Галина Алексеевна Матвеева – научный сотрудник

#### Information about the authors

Lilia V. Gaponova, Ph.D. (Eng.), Head of the Department of medical, preventive and baby nutrition  
Tatiana A. Polezhaeva, Ph.D. (Eng.), Researcher  
Galina A. Matveeva, Researcher

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflicts of interests

Статья поступила в редакцию 01.11.2024  
Одобрена после рецензирования 19.01.2025  
Принята к публикации 28.02.2025

The article was submitted 01.11.2024  
Approved after reviewing 19.01.2025  
Accepted for publication 28.02.2025