

Научная статья/Research article

УДК 665.117.2: 664.34: 664.38

DOI: 10.36718/1819-4036-2025-10-216-229

Иван Андреевич Фоменко<sup>1</sup>, Ирина Михайловна Чернуха<sup>2</sup>, Денис Игоревич Алексаночкин<sup>3✉</sup>,  
Хатем Гернуг<sup>4</sup>, Наталья Геннадьевна Машенцева<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Российский биотехнологический университет, Москва, Россия

<sup>2</sup> ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, Москва, Россия

<sup>1</sup>fomenkoia@mgupp.ru

<sup>2</sup>imcher@inbox.ru

<sup>3</sup>aleksanochkindi@list.ru

<sup>4</sup>hatemghernoug95@gmail.com

<sup>5</sup>natali-mng@yandex.ru

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЕЗЖИРИВАНИЯ ЖМЫХА ПРОМЫШЛЕННОЙ КОНОПЛИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗОЛЯТА БЕЛКА

Цель исследования – изучение и оценка эффективности процесса обезжиривания как части предобработки жмыха конопли. Задачи: определить химический состав жмыха конопли; изучить влияние ферментного препарата «Липаза» на процесс обезжиривания жмыха конопли; изучить способность растворителей (н-гексана, ацетона, спирта) снижать количество жира в конопляном жмыхе; определить выход белка после обезжиривания ферментным препаратом и растворителями. Объект исследования – жмых конопли сорта Вера, измельченный до размера частиц не более 100 мкм. Жмых подвергался обезжириванию с использованием ферментного препарата (ФП) «Липаза» («БиоПрепарат», Россия) и органических растворителей (н-гексан, ацетон, спирт). При использовании технологии ферментативной биотрансформации рациональными параметрами являлись: время гидролиза 2 ч при концентрации фермента 1 %, температуре 39 °С и 200 мин<sup>-1</sup> с остаточным содержанием «сырого» жира 2,54 %. Графическая оптимизация процесса обезжиривания показала, что н-гексан является наиболее эффективным растворителем, обеспечивающим снижение содержания жира до менее 1,5 % при температуре 40 °С и времени 2 ч с соотношением сырья-гексан 1 : 6. Спирт демонстрирует лучшую эффективность по сравнению с ацетоном, но уступает н-гексану. Оптимальные условия для спирта: температура 40–50 °С, время 1,5–3 ч; для ацетона: температура 45–50 °С, время 2,5–3 ч, с остаточным содержанием жира 1,5–2 %. По результатам обезжиривания выход белка увеличился относительно нативного жмыха ((81,24 ± 4,17) %) при использовании ФП ((86,32 ± 4,43) %) и н-гексана ((88,73 ± 4,55) %).

**Ключевые слова:** промышленная конопля, жмых конопли, конопляное масло, изолят белка, обезжиривание жмыха конопли, липаза, органический растворитель

**Для цитирования:** Фоменко И.А., Чернуха И.М., Алексаночкин Д.И., и др. Оценка эффективности обезжиривания жмыха промышленной конопли для производства изолята белка // Вестник КрасГАУ. 2025. № 10. С. 216–229. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-10-216-229.

**Финансирование:** работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 25-16-00178).

Ivan Andreevich Fomenko<sup>1</sup>, Irina Mihajlovna Chernukha<sup>2</sup>, Denis Igorevna Aleksanochkin<sup>3</sup>✉, Hatem Gernug<sup>4</sup>, Natalya Gennadievna Mashentseva<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Russian Biotechnological University, Moscow, Russia

<sup>2</sup>V.M. Gorbatov FSC of Food Systems of the RAS, Moscow, Russia

<sup>1</sup>fomenkoia@mgupp.ru

<sup>2</sup>imcher@inbox.ru

<sup>3</sup>aleksanochkindi@list.ru

<sup>4</sup>hatemghernoug95@gmail.com

<sup>5</sup>natali-mng@yandex.ru

## EFFICIENCY ASSESSMENT OF DEFATTING INDUSTRIAL HEMP CAKE FOR PROTEIN ISOLATE PRODUCTION

The aim of the study is to investigate and evaluate the effectiveness of the defatting process as part of the pre-treatment of hemp cake. Objectives: to determine the chemical composition of hemp cake; to study the effect of the enzyme preparation Lipase on the defatting process of hemp cake; to study the ability of solvents (*n*-hexane, acetone, alcohol) to reduce the amount of fat in hemp cake; to determine the protein yield after defatting with the enzyme preparation and solvents. The object of the study was the cake of the Vera variety of hemp, ground to a particle size of no more than 100  $\mu\text{m}$ . The cake was defated using the enzyme preparation (EP) Lipase (BioPreparat, Russia) and organic solvents (*n*-hexane, acetone, alcohol). When using enzymatic biotransformation technology, the rational parameters were: a hydrolysis time of 2 hours at an enzyme concentration of 1 %, a temperature of 39 °C, and 200  $\text{min}^{-1}$  with a residual "crude" fat content of 2.54 %. Graphical optimization of the defatting process showed that *n*-hexane is the most effective solvent, ensuring a fat content reduction to less than 1.5 % at a temperature of 40 °C and a time of 2 hours with a feedstock-to-hexane ratio of 1:6. Alcohol demonstrates better efficiency compared to acetone, but is inferior to *n*-hexane. Optimal conditions for alcohol: temperature are 40–50 °C, time – 1.5–3 h; for acetone: temperature – 45–50 °C, time – 2.5–3 h, with a residual fat content of 1.5–2 %. According to the defatting results, the protein yield increased relative to native cake ( $81.24 \pm 4.17$  %) when using FP ( $86.32 \pm 4.43$  %) and *n*-hexane ( $88.73 \pm 4.55$  %).

**Keywords:** industrial hemp, hemp cake, hemp oil, protein isolate, hemp cake defatting, lipase, organic solvent.

**For citation:** Fomenko IA, Chernukha IM, Aleksanochkin DI, et al. Efficiency assessment of defatting industrial hemp cake for protein isolate production. *Bulletin of KSAU*. 2025;(10):216-229. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-10-216-229.

**Funding:** this work was supported by a grant from the Russian Science Foundation (project № 25-16-00178).

**Введение.** Пищевые отходы являются одним из основных источников загрязнения окружающей среды, а также могут быть этической проблемой с точки зрения глобального голода [1]. На современном этапе развития пищевой промышленности стоит острая задача эффективного использования побочных продуктов переработки сельскохозяйственных культур, включая жмыхи и шроты. Количество жмыха и шрота по данным РОССТАТ в период 2022–2023 гг. составляет более 11,9 млн т, что на 22 % выше, чем за предыдущий период. На данный момент эти отходы в основном используются в качестве кормов для животных в сельском хозяйстве [2]. Также рост населения и социальных потребностей значи-

тельно опережает темпы производства продуктов питания, при этом дефицит пищевого белка к 2050 г. может достичь 30 млн т, усугубляя глобальный кризис недоедания, который в 2022 г. затронул 9,2 % населения планеты [3–5]. Одним из решений проблемы является использование вторичных продуктов переработки масложировой промышленности в качестве получения белковых ингредиентов в пищевых системах.

*Cannabis sativa* L., известная как промышленная конопля, представляет собой травянистое анемофильное растение, принадлежащее к семейству *Cannabaceae*. Она считается одной из самых древних культур в мире [6]. Конопля характеризуется широким спектром приме-

ния, охватывающим как традиционные производственные сегменты, так и современные высокотехнологичные решения. Особую значимость имеет промышленная конопля, которая является биоресурсом для получения лубяных волокон, активно используемых в текстильном производстве. Кроме того, данная культура служит источником масла, обладающего высокой ценностью для пищевой промышленности благодаря своим уникальным свойствам [7].

Промышленная конопля и медицинский каннабис в первую очередь различаются по уровню содержания наркотических соединений. Двумя наиболее известными и исследованными каннабиноидами растения *Cannabis sativa* L. являются каннабидиол (КБД), безопасное, не вызывающее психоактивных свойств, и 9-дельта-

тетрагидроканнабинол (ТГК), психоактивный элемент, вызывающий опьяняющий эффект, с которым обычно ассоциируется каннабис [8]. В большинстве стран к сортам промышленной конопли установлены требования по содержанию ТГК до 0,3 % [9]. В России по постановлению Правительства РФ от 6 февраля 2020 г. № 101 для выращивания конопли в промышленных целях, не связанных с производством или изготовлением наркотических средств, разрешаются сорта с содержанием в сухой массе листьев и соцветий верхних частей одного растения массовой доли ТГК, не превышающим 0,1 % [3, 10]. В таблице 1 представлена информация о различии промышленных и медицинских сортов конопли.

Таблица 1

**Основные различия между промышленной коноплей и медицинским каннабисом [11, 12]**  
**The main differences between industrial cannabis and medical cannabis [11, 12]**

| Характеристика       | Промышленная конопля                                                                                                           | Медицинская конопля                                                                                                |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Фенотип              | Высокий волокнистый стебель с относительно тонкими листовыми частями, имеет меньше ветвей и цветков/бутонов                    | Более кустовой с многочисленными ветвями, несущими обилие почек с высоким содержанием ТГК                          |
| Психоактивный эффект | Психоактивный эффект отсутствует                                                                                               | Психоактивный эффект присутствует                                                                                  |
| Содержание ТГК       | 0,3% и менее                                                                                                                   | 10% и более                                                                                                        |
| Производство         | Культура с полностью коммерческим крупнотоннажным производством. Используются целые популяции с мужскими и женскими растениями | В основном ручное и инфраструктурно сложное производство в закрытых помещениях. Выращивают только женские растения |
| Использование        | Используется в пищевой, текстильной, строительной, косметической промышленности и сельском хозяйстве                           | Из-за психоактивного действия применяется в качестве создания лекарственных средств в медицинской промышленности   |

По данным аналитической компании Fortune Business Insights, объем мирового рынка промышленной конопли оценивается в 7,90 млрд долл. США в 2023 г. и, по прогнозам, он вырастет до 31,98 млрд долл. США к 2030 г., демонстрируя среднегодовой темп роста в 22,11 % [13]. По оценкам Минсельхоза России, посевные площади, занятые коноплей в 2023 г., составили 15,2 тыс. га. Интерес к производству промышленной конопли в России ежегодно увеличивается. Если в 2020 г. конопля выращивалась в 23 регионах страны, в 2021 г. – в 32 регионах, то в 2022 г. – уже в 40 регионах. Наибольшую долю (35 %) в сортовых посевах конопли РФ занимают

сорта, созданные в ФГБНУ ФНЦ лубяных культур (Вера, Сурская, Надежда) [14, 15].

Основной целью культивирования промышленной конопли для пищевой индустрии является масло. Семена *Cannabis sativa* L. содержат более 30 % масла от общего состава нативного семени [16]. Конопляное масло характеризуется высокой пищевой ценностью, заключающейся в наличии вторичных метаболитов (жирорастворимые витамины, фитостерины, полифенолы, пигменты и неорганические элементы) и высоким содержанием полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК). Содержание ПНЖК в пищевом масле составляет до 80 %, представленных в

основном линолевой (C18:2  $\omega$ -6, более 50 %) и альфа-линоленовой (C18:3  $\omega$ -3, от 15 до 25 %) кислотами [17, 18]. На рисунке 1 представлена информация по содержанию жирных кислот в различных масличных культурах. Масло семян конопли содержит изомеры токоферола: бета-токоферол, гамма-токоферол, альфа-токоферол и дельта-токоферол. По своей структуре токо-

феролы являются природными антиоксидантами, способными оказывать влияние на окислительно-восстановительные реакции в организме человека [19]. Конопляное масло обладает самым высоким содержанием ПНЖК среди растительных масел. Среднее содержание мононенасыщенных и насыщенных ЖК составляет 12 и 8 % соответственно.

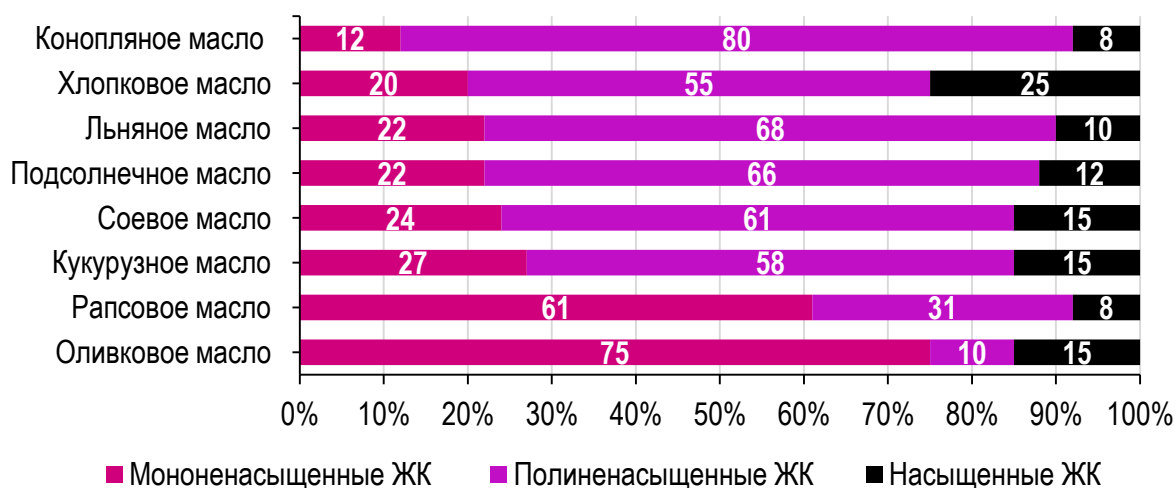


Рис. 1. Состав жирных кислот растительного масла из разного сырья [20]  
*The composition of fatty acids of vegetable oil from various raw materials [20]*

Для получения конопляного масла традиционно применяются два основных метода: экстракция с использованием растворителей и холодное прессование. Метод экстракции, несмотря на более высокий выход продукта, имеет значительные недостатки, такие как потенциальное загрязнение окружающей среды и риск наличия токсичных остатков в готовом продукте. В связи с этим в современной практике все большее распространение получает метод холодного отжима, несмотря на его относительно низкую эффективность (до 65 % масличного вещества извлекается из семени, при этом около 35 % остается в жмыхе) [21]. Одним из существенных ограничений данного подхода является повышенное содержание хлорофилла в полученном масле, что обуславливает его интенсивную зеленую окраску и способствует процессам липидной окислительной деградации [22].

Жмых из семян конопли является перспективным сырьем для функциональной переработки в пищевые ингредиенты. Высокая белковая ценность, оптимальный состав незаменимых аминокислот и хорошая биодоступность делают его эффективным компонентом для создания новых пищевых систем с улучшенными

питательными характеристиками [1]. Исключительным преимуществом жмыха семян конопли является его минимальная потребность в предварительной обработке, что обеспечивает значительные экологические и экономические выгоды при использовании в современных технологиях пищевого производства, выделяя его на фоне других масличных жмыхов [23]. Использование отходов масличных культур во многом соответствует концепции ESG-трансформации (переработки вторичного сырья в продукт с добавленной стоимостью) [24].

Актуальность применения процесса обезжиривания жмыха для получения изолята белка конопли определяется рядом важных аспектов. Прежде всего, этот этап способствует значительному увеличению содержания белка в конечном продукте, что повышает его питательную ценность. Кроме того, обезжиривание позволяет эффективно удалять лишние липиды, которые могут негативно сказываться на органолептических характеристиках продукта, продлевая его срок годности [25, 26]. С экономической точки зрения интеграция данного процесса в производственную цепочку способствует минимизации отходов и созданию более рациональ-

ной технологической схемы. Особенно перспективным представляется использование органических растворителей, что открывает возможность одновременного получения конопляного масла. Такой подход не только обеспечивает комплексное использование сырья, но и значительно повышает экономическую эффективность производства.

Жмых и шрот из семян является отличным источником белка, их содержание варьируется в пределах от 19,4 до 62,3 % [27]. Конопляный белок представляет собой перспективный ингредиент для пищевой промышленности, обладающий рядом значимых преимуществ. Одним из ключевых свойств является его высокая усвояемость *in vitro* (88–91 %), что значительно превосходит показатели многих других растительных белков [28]. Помимо этого, он характеризуется высоким содержанием питательных веществ и обеспечивает достаточное количество незаменимых аминокислот, соответствующих рекомендациям ФАО/ВОЗ. Важно отметить, что конопляный белок не содержит глютена и антипитательных факторов (ингибиторов трипсина, фитиновой кислоты, конденсированных дубильных веществ), это расширяет его спектр использования в различных пищевых продуктах. Белковые ингредиенты из конопли могут быть получены в форме муки (содержание белка до 60 %), концентрата (60–70 %) и изолята ( $\geq 90$  % белка) в зависимости от технологического процесса [29, 30].

**Цель исследования** – изучение и оценка эффективности процесса обезжиривания как части предобработки жмыха конопли.

Данная научная работа стремится определить оптимальные условия для обезжиривания, которые позволят максимизировать выход белка, минимизировать потери питательных веществ и снизить количество отходов. Важной частью исследования является анализ выхода белкового продукта после этапа обезжиривания.

**Задачи:** определить химический состав жмыха конопли; изучить влияние ферментного препарата «Липаза» на процесс обезжиривания жмыха конопли; изучить способность растворителей (н-гексана, ацетона, спирта) снижать количество жира в конопляном жмыхе; определить выход белка после обезжиривания ферментным препаратом и растворителями.

**Объекты и методы.** Объект исследования – жмых конопли сорта Вера, который был получен шнековым прессованием на малом предприятии

по производству масла «ДобрыйЗнак.РФ», Одинцово; конопля была выращена в Пензенской области.

Измельчение жмыха конопли осуществляли на профессиональном блендере (RAWMID Dream Samurai BDS-04, Китай) до размера частиц не более 100 мкм.

Определение абсолютно сухого вещества (АСВ) проводили высушиванием до постоянной массы в соответствии с ГОСТ 31640-2012. Определение «сырого» протеина проводили по ГОСТ 13496.4-2019, «сырого» жира – по ГОСТ 13496.15-2016, «сырой» клетчатки – по ГОСТ 31675-2012, «сырой» золы – по ГОСТ 32933-2014.

Обезжиривание проводили с использованием ферментного препарата «Липаза» («БиоПрепарат», Россия) с активностью 2 000 000 ед/г в течение от 0,5 до 5 ч, pH 7,6, при перемешивании 200 мин<sup>-1</sup>, температуре 39 °C и дозировке от 0,5 до 3 % с предварительным приготовлением суспензии 10 % от АСВ. По окончании обезжиривания пробу центрифугировали 15 мин при 4000 мин<sup>-1</sup>, в осадке определяли содержание «сырого» жира.

Обезжиривание органическими растворителями проводили с использованием н-гексана, ацетона и спирта. В качестве факторов удаления жира выступало соотношение сырья к растворителю от 1 : 3 до 1 : 10, время от 0,15 до 3 ч и температура от 25 до 50 °C при перемешивании 200 мин<sup>-1</sup>. По окончании обезжиривания пробу центрифугировали 15 мин при 4000 мин<sup>-1</sup>, в осадке определяли содержание «сырого» жира. По результатам строились поверхность отклика и тепловая карта с использованием языка программирования Python.

Экстракцию белка проводили с использованием 20 %-го раствора NaOH до pH 12 при температуре 40 °C с временем экстракции 1 ч. По окончании экстракции образцы центрифугировали 15 мин при 4000 мин<sup>-1</sup>, фугат осаждали в изoeлектрической точке (ИЭТ) растительных белков до pH 4,5 в течение 30 мин при температуре 5 °C.

**Результаты и их обсуждение.** Химический состав конопляного жмыха зависит от сорта конопли, региона произрастания культуры, а также от технологии и механизмов холодного отжима. Был проведен биохимический анализ объекта исследования (жмыха конопли), результат которого представлен в таблице 2.

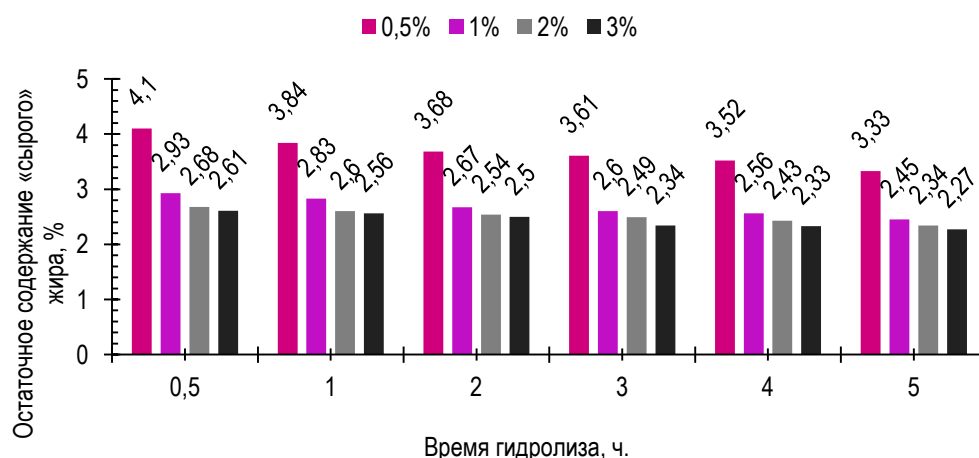
**Химический состав жмыха конопли, %**  
**Chemical composition of cannabis cake, %**

| Показатель               | Значение   |
|--------------------------|------------|
| Абсолютно сухое вещество | 89,70±4,49 |
| «Сырой» протеин          | 34,32±3,43 |
| «Сырой» жир              | 10,9±1,10  |
| «Сырая» клетчатка        | 31,85±3,19 |
| Зола                     | 6,81±0,34  |

Данные приведены с указанием средних значений и стандартных отклонений. Полученные нами данные подтверждают, что жмых семян конопли обладает высокой питательной ценностью за счет высокого содержания белка (34,3 %) и клетчатки (31,9 %), это делает его полноценным сырьем для получения белковых продуктов и ингредиентов. Также в жмыхе содержится остаточное количество липидов – около 11 % от общего состава. Таким образом существует необходимость в этапе обезжиривания, поскольку липиды могут негативно влиять на функциональные свойства белка, включая его растворимость, эмульгирующую способность и стабильность. Кроме того, остаточные жиры могут вызывать окислительные процессы, что приводит к ухудшению органолептических характеристик продукта и сокращению его срока годности [31]. После удаления липидов содержание белка в обезжиренном жмыхе возрастает относительно общей массы, что способствует более эффективному его использованию для производства изолята белка конопли. Конопляное масло, полученное при

обезжиривании жмыха, может стать ценным продуктом растительного происхождения, отличающимся богатым химическим составом и широкой областью применения.

Обезжиривание жмыха растительного сырья обычно осуществляется методами экстракции органическими растворителями, такими как н-гексан, или механическими способами, например прессованием под высоким давлением [32]. Одним из перспективных методов обезжиривания является использование ферментных препаратов типа липаз, которые катализируют гидролиз триглицеридов с образованием свободных жирных кислот и моно-/диацилглицеринов [33]. Липазы являются специфическими эстеразами, способными работать при сравнительно мягких условиях (температурный диапазон 25–60 °С, pH 4–9), что позволяет сохранить функциональные свойства белкового комплекса растительного матрикса. На рисунке 2 представлен график гидролиза липидного профиля в жмыхе конопли с использованием ферментного препарата «Липаза» («БиоПрепарат», Россия).



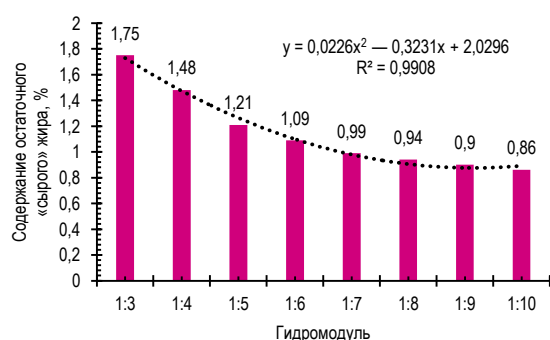
**Рис. 2. График эффективности использования ферментного препарата «Липаза»**  
**(«БиоПрепарат», Россия) на обезжиривание жмыха**

*Graph of the effectiveness of using the enzyme preparation Lipase (BioPreparat, Russia) for low-fat cake*

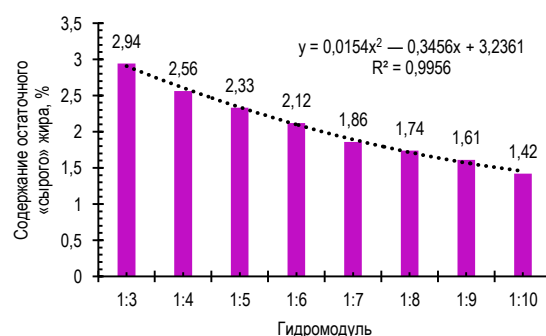
В ходе проведения процесса обезжиривания оптимальным является использование 1 %-го ферментного препарата «Липаза» в течение 2 ч гидролиза. Увеличение времени гидролиза до 5 ч приводит к уменьшению содержания жира всего лишь на 0,22 %, что является незначительным результатом в контексте длительности технологического процесса. Повышение дозировки ферментного препарата до 2 % не способствует значительному снижению содержания жира – уменьшение составляет всего 0,13 %.

На процесс обезжиривания влияют такие факторы, как соотношение сырья к раствори-

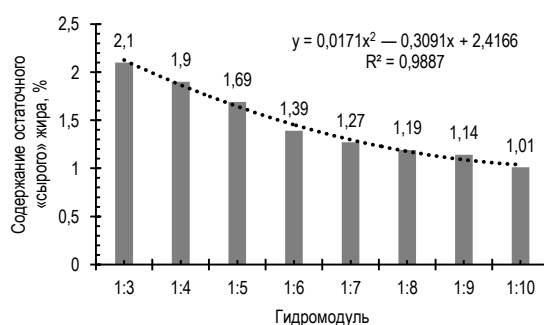
лю, температура и время, которые в совокупности способны эффективно влиять на технологический процесс получения изолята белка. Для обезжиривания органическими растворителями (н-гексаном, ацетоном, спиртом) необходимо определить оптимальное соотношение «сырье – экстрагент» (рис. 3). К одной части жмыха конопля добавлялась часть растворителя, весь процесс велся при 40 °С в течение 1 ч. По окончании обезжиривания пробу центрифугировали 15 мин при 4000 мин<sup>-1</sup> и определяли содержание «сырого» жира.



а



б



в

Рис. 3. График зависимости остаточного содержания жира от соотношения сырья к растворителю с использованием: а – н-гексана; б – ацетона; в – спирта

The graph of residual fat content depending on the ratio of raw material to solvent using:  
а – n-hexane; б – acetone; в – alcohol

На основании проведенного анализа можно утверждать о целесообразности применения в технологии обезжиривания соотношения 1 : 6 сырья к н-гексану. Данные по соотношению «сырье – экстрагент» демонстрируют высокую эффективность, при этом увеличение органического растворителя способствует снижению содержания остаточного жира на 21,1 %. Избыточное количество растворителя не оказывает существенного влияния на снижение содержания жира, при этом увеличивает расход реаген-

та и делает процесс менее экономически эффективным. Увеличение объема растворителя приводит лишь к незначительному улучшению извлечения жира, о чем свидетельствует показатель отката жира на уровне 1,09 %, что нецелесообразно с технологической и экономической точек зрения. При применении ацетона в соотношении 1 : 10 достигается остаточное содержание жира на уровне 1,42 %. В свою очередь использование этанола при том же соотношении (1:10) приводит к значительно более

высокому высвобождению липидов и низкому значению остаточного содержания жира, составляющему 1,01 %. Таким образом, самым эффективным является н-гексан с максимальной частотой обезжиривания по сравнению с другими органическими растворителями.

Была изучена эффективность обезжиривания с изменениями температуры (25–50 °C) и времени (0,15–3 ч) при оптимальном соотноше-

нии «сырье – экстрагент» (1 : 6 для всех растворителей). Эффективность удаления жира определяется как разница между содержанием «сырого» жира в нативном сырье и обезжиренном образце. На рисунке 4 представлены поверхность отклика и тепловая карта процесса обезжиривания с двумя факторами (температурой и временем) относительно эффективности обезжиривания.

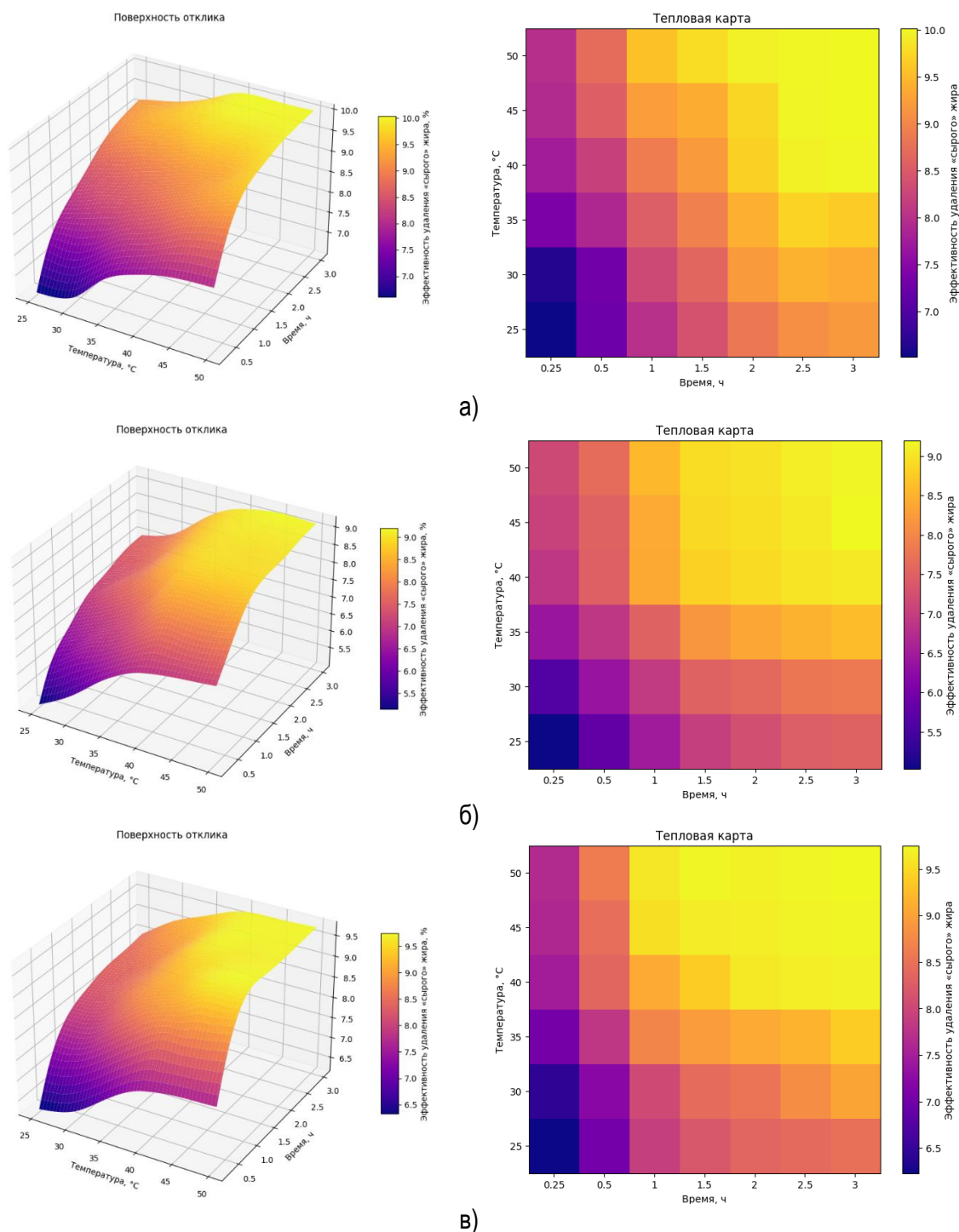


Рис. 4. График эффективности обезжиривания с использованием:

а – н-гексана; б – ацетона; в – спирта

The graph of efficiency of: а – n-hexane; б – acetone; в – alcohol in the fat removal process

По результатам графической оптимизации процесса обезжиривания выявлено, что самым эффективным растворителем оказался н-гексан, который при температуре от 35 до 50 °С и времени от 1,5 до 3 ч приводит к максимальному снижению жира (менее 1,5 %). Высокие значения эффективности (ярко-желтые области) сосредоточены там, где температура выше 40 °С и время больше 2 ч. Следовательно оптимальными параметрами для данного растворителя являются соотношение сырья к гексану 1 : 6 при температуре 40 °С и времени 2 ч. Данные подтверждаются научной литературой по получению изолята белка конопли, представленной Liu X. и др., 2022 [34]. Спирт является эффективнее ацетона, но менее эффективным, чем н-гексан, что подтверждается графическими результатами. При использовании ацетона при температуре 45–50 °С в течение 2,5–3 ч содержание «сырого» жира составляет 1,5–2 %. Максимальная степень эффективности удаления жира менее 1,5 % с использованием спирта наблюдается при температуре обезжиривания 40–50 °С и времени от 1,5 до 3 ч.

Был проведен анализ выхода белковой фракции и содержания «сырого» протеина в образцах до и после обезжиривания липазой и органическим растворителем н-гексаном. Обезжиренный жмых сушился при температуре 50 °С в течение 1,5 ч. После термообработки из обезжиренного сырья, а также контрольного образца экстрагировали фракции альбуминов и глобулинов. В качестве контрольного образца был взят нативный жмых конопли. Для проверки эффективности обезжиривания был проведен гидролиз с использованием 1 %-го ФП «Липаза» при 39 °С, 1 ч. и pH 7,5. Обезжиривание н-гексаном проводилось при гидромодуле 1 : 6, времени 1,5 ч и температуре 40 °С. По окончании осаждения в изoeлектрической точке образцы центрифугировали 15 мин при 4000 мин<sup>-1</sup>, в результате была получена белковая фракция, в которой определялись выход и содержание «сырого» протеина. В таблице 3 представлены данные о эффективности процесса обезжиривания на выход целевого продукта.

Таблица 3

**Выход (% от общего количества) и содержание белка  
в изоляте из жмыха конопли с разными способами предобработки  
Comparison of yield (% of total amount) and protein content  
in isolate from hemp cake with different pretreatment methods**

| Образец                               | Выход белка,<br>% от АСВ | Содержание «сырого»<br>протеина, % |
|---------------------------------------|--------------------------|------------------------------------|
| Жмых конопли (контроль)               | 57,88±2,97               | 81,24±4,17                         |
| Жмых конопли, обезжиренный липазой    | 65,42±3,36               | 86,32±4,43                         |
| Жмых конопли, обезжиренный н-гексаном | 68,08±3,49               | 88,73±4,55                         |

На основании данных можно сделать вывод, что использование ферментного препарата приводит к увеличению выхода целевого продукта («сырого» протеина) на 6,25 % относительно нативного жмыха конопли. Использование н-гексана повышает содержание белка на 9,22 %. В процессе обезжиривания, наряду с увеличением концентрации целевого компонента, обеспечивается удаление сопутствующих нежелательных веществ, в частности липидов, которые оказывают негативное влияние на качественные характеристики готового продукта. В рамках технологии переработки конопляного жмыха выделение масла с последующей отгонкой растворителя может быть реализовано как самостоятельный этап, направленный на мак-

симальное использование сырья и минимизацию отходов. Этот процесс позволяет не только извлечь ценный продукт – конопляное масло, – но и вернуть растворитель в производственный цикл, что соответствует принципам безотходного и экологически устойчивого производства.

**Заключение.** Экспериментально определена эффективность обезжиривания жмыха конопли с использованием как ферментного препарата, так и органических растворителей. Изученные методы обезжиривания жмыха конопли подтверждают их эффективность в удалении липидов и повышении содержания белка. Наиболее перспективным решением является использование н-гексана, обеспечивающего максимальное снижение содержания жира при оптималь-

ных технологических параметрах (соотношение сырья к растворителю 1 : 6 при температуре 40 °С и времени 2 ч). В то же время ферментативный метод с использованием липазы представляет собой безопасную и дешевую альтернативу, которая может быть рассмотрена для специальных случаев применения (для детского питания, диетического и лечебного рациона, а также в производстве органической продукции). Оптимальное время гидролиза составляет 2 ч при концентрации ФП 1 %, температуре 39 °С и 200 мин<sup>-1</sup>. В результате применения ферментного препарата был достигнут выход белка в

пересчете на АСВ в количестве 65,42 %, что на 13 % больше, чем в исходном жмыхе. При этом применение н-гексана в качестве растворителя для обезжиривания позволило увеличить выход белка до 68,08 %, что превышает значение для необезжиренного жмыха на 17,6 %. Эти данные позволяют оптимизировать процессы производства изолята белка конопли и расширить его использование в пищевых системах. Отдельной стадией в данной технологии может стать отгонка растворителя и получения конопляного масла из жмыха, что является стратегией безотходного производства.

### Список источников

1. Capcanari T., Covaliov E., Negoita C., et al. Hemp seed cake flour as a source of proteins, minerals and polyphenols and its impact on the nutritional, sensorial and technological quality of bread // *Foods*. 2023. Vol. 12, is. 23. 4327. DOI: 10.3390/foods12234327.
2. Smeu I., Dobre A.A., Cucu E.M., et al. Byproducts from the vegetable oil industry: The challenges of safety and sustainability // *Sustainability*. 2022. Vol. 14, is. 4. 2039. DOI: 10.3390/su14042039.
3. Серков В.А., Кабунина И.В. К аспекту нормативно-правового регулирования выращивания и переработки конопли посевной в России // *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2022. № 1. С. 99–102. DOI: 10.55186/25876740\_2022\_65\_1\_99.
4. Sadigov R. Rapid growth of the world population and its socioeconomic results // *The Scientific World Journal*. 2022. Vol. 2022, is. 1. 8110229. DOI: 10.1155/2022/8110229.
5. Колпакова В.В., Уланова Р.В., Гулакова Д.С., и др. Показатели качества гороховых и нутовых белковых концентратов // *Техника и технология пищевых производств*. 2022. Т. 52, № 4. С. 650–664. DOI: 10.21603/2074-9414-2022-4-2394.
6. Farinon B., Molinari R., Costantini L., et al. The seed of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.): Nutritional quality and potential functionality for human health and nutrition // *Nutrients*. 2020. Vol. 12, is. 7. P. 1935. DOI: 10.3390/nu12071935.
7. Алексаночкин Д.И., Фоменко И.А., Алексеева Е.А., и др. Получение растительного белка из семян и жмыха промышленной конопли: обзор способов переработки для использования в пищевой промышленности // *Пищевые системы*. 2024. Vol. 7, is. 2. P. 188–197. DOI: 10.21323/2618-9771-2024-7-2-188-197.
8. Kaur G., Kander R. The Sustainability of Industrial Hemp: A Literature Review of Its Economic, Environmental, and Social Sustainability // *Sustainability*. 2023. Vol. 15, is. 8. 6457. DOI: 10.3390/su15086457.
9. Malabadi R.B., Kolkar K.P., Chalannavar R.K., et al. Cannabis sativa: Difference between Medical Cannabis (Marijuana or drug type) and Industrial hemp // *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*. 2023. Vol. 24, is. 3. P. 377–381. DOI: 10.30574/gscbps.2023.24.3.0393.
10. Федеральная служба государственной статистики (Росстат). Официальная статистика Российской Федерации. Доступно по: <https://rosstat.gov.ru>. Ссылка активна на 25.10.2025.
11. Visković J., Zheljaskov V.D., Sikora V., et al. Industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) agronomy and utilization: A review // *Agronomy*. 2023. Vol. 13, is. 3. 931. DOI: 10.3390/agronomy13030931.
12. Adhikary D., Kulkarni M., El-Mezawy A., et al. Medical cannabis and industrial hemp tissue culture: present status and future potential // *Frontiers in plant science*. 2021. Vol. 12. 627240. DOI: 10.3389/fpls.2021.627240.

13. Market Report: Global Industrial Hemp Market Size, Analysis and Forecast to 2032 // Fortune Business Insights. Available at: <https://fortunebusinessinsights.com/industrial-hemp-market-102459>. Accessed: 21.06.2025.
14. Серков В. А., Кабунина И.В., Ростовцев Р.А. Использование сортов отечественной селекции в коноплеводстве Российской Федерации // Международный сельскохозяйственный журнал. 2024. № 1. С. 90–93. DOI: 10.55186/25876740\_2024\_67\_1\_90.
15. Серков В.А., Кабунина И.В. Конопля посевная-перспективный сырьевой ресурс для масложировой промышленности России // Международный сельскохозяйственный журнал. 2023. № 2 (392). С. 188–191. DOI: 10.55186/25876740\_2023\_66\_2\_188.
16. Lin Y., Pangloli P., Dia V.P. Physicochemical, functional and bioactive properties of hempseed (*Cannabis sativa* L.) meal, a co-product of hempseed oil and protein production, as affected by drying process // Food chemistry. 2021. Vol. 350. 129188. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.129188.
17. Spano M., Di Matteo G., Rapa M., et al. Commercial hemp seed oils: A multimethodological characterization // Applied Sciences. 2020. Vol. 10, is. 19. 6933. DOI: 10.3390/app10196933.
18. Lo Turco V., Litrenta F., Nava V., et al. Effect of Filtration Process on Oxidative Stability and Minor Compounds of the Cold-Pressed Hempseed Oil during Storage // Antioxidants. 2023. Vol. 12, is. 6. 1231. DOI: 10.3390/antiox12061231.
19. Rupasinghe H.V., Davis A., Kumar S.K., et al. Industrial hemp (*Cannabis sativa* subsp. *sativa*) as an emerging source for value-added functional food ingredients and nutraceuticals // Molecules. 2020. Vol. 25, is. 18. 4078. DOI: 10.3390/molecules25184078.
20. Wallis J.G., Bengtsson J.D., Browse J. Molecular approaches reduce saturates and eliminate trans fats in food oils // Frontiers in Plant Science. 2022. Vol. 13. 908608. DOI: 10.3389/fpls.2022.908608.
21. Da Porto C., Natolino A., Decorti D. Effect of ultrasound pre-treatment of hemp (*Cannabis sativa* L.) seed on supercritical CO<sub>2</sub> extraction of oil // Journal of food science and technology. 2015. Vol. 52. P. 1748–1753. DOI: 10.1007/s13197-013-1143-3.
22. Baldino N., Carnevale I., Mileti O., et al. Hemp seed oil extraction and stable emulsion formulation with hemp protein isolates // Applied Sciences. 2022. Vol. 12, is. 23. 11921. DOI: 10.3390/app122311921.
23. Capcanari T., Covaliov E., Negoita C. Harnessing Hemp (*Cannabis sativa* L.) Seed Cake Proteins: From Concentrate Production to Enhanced Choux Pastry Quality // Foods. 2025. Vol. 14, is. 4. 567. DOI: 10.3390/foods14040567.
24. Jaouhari Y., Travaglia F., Giovannelli L., et al. From industrial food waste to bioactive ingredients: A review on the sustainable management and transformation of plant-derived food waste // Foods. 2023. Vol. 12, is. 11. 2183. DOI: 10.3390/foods12112183.
25. Teh S.S., Bekhit, A.E.D., Carne A., et al. Effect of the defatting process, acid and alkali extraction on the physicochemical and functional properties of hemp, flax and canola seed cake protein isolates // Journal of Food Measurement and Characterization. 2014. Vol. 8. P. 92–104. DOI: 10.1007/s11694-013-9168-x.
26. Mendoza-Pérez R.J., Náthia-Neves G., Blanco B., et al. Physicochemical characterisation of seeds, oil and defatted cake of three hempseed varieties cultivated in Spain // Foods. 2024. Vol. 13, is. 4. 531. DOI: 10.3390/foods13040531.
27. Rakita S., Kokić B., Manoni M., et al. Cold-pressed oilseed cakes as alternative and sustainable feed ingredients: A review // Foods. 2023. Vol. 12, is. 3. 432. DOI: 10.3390/foods12030432.
28. Mamone G., Picariello G., Ramondo A., et al. Production, digestibility and allergenicity of hemp (*Cannabis sativa* L.) protein isolates // Food Research International. 2019. Vol. 115. P. 562–571. DOI: 10.1016/j.foodres.2018.09.017.
29. Liu X., Xue F., Adhikari B. Recent advances in plant protein modification: spotlight on hemp protein // Sustainable Food Technology. 2024. DOI: 10.1039/D3FB00215B.
30. Shen P., Gao Z., Fang B., et al. Ferreting out the secrets of industrial hemp protein as emerging functional food ingredients // Trends in Food Science & Technology. 2021. Vol. 112. P. 1–15. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.03.022.

31. Geng L., Liu K., Zhang H. Lipid oxidation in foods and its implications on proteins // *Frontiers in Nutrition*. 2023. Vol. 10. 1192199. DOI: 10.3389/fnut.2023.1192199.
32. Kostić M.D., Joković N.M., Stamenković O.S., et al. Optimization of hempseed oil extraction by n-hexane // *Industrial crops and products*. 2013. Vol. 48. P. 133–143. DOI: 10.1016/j.indcrop.2013.04.028.
33. Reyes-Reyes A.L., Valero Barranco F., Sandoval G. Recent advances in lipases and their applications in the food and nutraceutical industry // *Catalysts*. 2022. Vol. 12, is. 9. 960. DOI: 10.3390/catal12090960.
34. Liu X., Wang M., Xue F., et al. Application of ultrasound treatment to improve the technofunctional properties of hemp protein isolate // *Future Foods*. 2022. Vol. 6. 100176. DOI: 10.1016/j.fufo.2022.100176.

## References

1. Capcanari T, Covaliov E, Negoita C, et al. Hemp Seed Cake Flour as a Source of Proteins, Minerals and Polyphenols and Its Impact on the Nutritional, Sensorial and Technological Quality of Bread. *Foods*. 2023;12(23):4327. DOI: 10.3390/foods12234327.
2. Smeu I, Dobre AA, Cucu EM, et al. Byproducts from the Vegetable Oil Industry: The Challenges of Safety and Sustainability. *Sustainability*. 2022;14(4):2039. DOI: 10.3390/su14042039.
3. Serkov VA, Kabunina IV. On the aspect of the regulatory regulation of the cultivation and processing of cannabis in Russia. *International Agricultural Journal*. 2022;1:99-102. (In Russ.). DOI: 10.55186/25876740\_2022\_65\_1\_99.
4. Sadigov R. Rapid Growth of the World Population and Its Socioeconomic Results. *Scientific World Journal*. 2022;2022:8110229. DOI: 10.1155/2022/8110229.
5. Kolpakova VV, Ulanova RV, Kulikov DS, et al. Quality indicators of pea and chickpea protein concentrates. *Techniques and Technologies of Food Production*. 2022;52(4):650-664. (In Russ.). DOI: 10.21603/2074-9414-2022-4-2394.
6. Farinon B, Molinari R, Costantini L, et al. The Seed of Industrial Hemp (*Cannabis sativa* L.): Nutritional Quality and Potential Functionality for Human Health and Nutrition. *Nutrients*. 2020;12(7):1935. DOI: 10.3390/nu12071935.
7. Aleksanochkin DI, Fomenko IA, Alekseeva EA, et al. Production of plant protein from seeds and cake of industrial hemp: overview of processing methods for food industry. *Food systems*. 2024;7(2):188-197. (In Russ.). DOI: 10.21323/2618-9771-2024-7-2-188-197.
8. Kaur G, Kander R. The Sustainability of Industrial Hemp: A Literature Review of Its Economic, Environmental, and Social Sustainability. *Sustainability*. 2023;15(8):6457. DOI: 10.3390/su15086457.
9. Malabadi RB, Kolkar KP, Chalannavar RK, et al. Cannabis sativa: Difference between Medical Cannabis (Marijuana or drug type) and Industrial hemp. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*. 2023;24(3):377-381. DOI: 10.30574/gscbps.2023.24.3.0393.
10. Federal State Statistics Service (Rosstat). *Official statistics of the Russian Federation*. Available at: <https://rosstat.gov.ru>. Accessed: 25.04.2025.
11. Visković J, Zheljazkov VD, Sikora V, et al. Industrial Hemp (*Cannabis sativa* L.) Agronomy and Utilization: A Review. *Agronomy*. 2023;13(3):931. DOI: 10.3390/agronomy13030931.
12. Adhikary D, Kulkarni M, El-Mezawy A, et al. Medical Cannabis and Industrial Hemp Tissue Culture: Present Status and Future Potential. *Frontiers in Plant Science*. 2021;12:627240. DOI: 10.3389/fpls.2021.627240.
13. *Market Report: Global Industrial Hemp Market Size, Analysis and Forecast to 2032. Fortune Business Insights*. Available at: <https://fortunebusinessinsights.com/industrial-hemp-market-102459>. Accessed: 21.06. 2025.
14. Serkov VA, Kabunina IV, Rostovtsev RA. Use of domestic varieties in hemp cultivation in the Russian Federation. *International Agricultural Journal*. 2024;1:90-93. (In Russ.). DOI: 10.55186/25876740\_2024\_67\_1\_90.

15. Serkov VA, Kabunina IV. Hemp as a promising raw material resource for the fat and oil industry in Russia. *International Agricultural Journal*. 2023;2(392):188-191. (In Russ.). DOI: 10.55186/25876740\_2023\_66\_2\_188.
16. Lin Y, Pangloli P, Dia VP. Physicochemical, functional and bioactive properties of hempseed (*Cannabis sativa* L.) meal, a co-product of hempseed oil and protein production, as affected by drying process. *Food Chemistry*. 2021;350:129188. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.129188.
17. Spano M, Di Matteo G, Rapa M, et al. Commercial Hemp Seed Oils: A Multimethodological Characterization. *Applied Sciences*. 2020;10(19):6933. DOI: 10.3390/app10196933.
18. Lo Turco V, Litrenta F, Nava V, et al. Effect of Filtration Process on Oxidative Stability and Minor Compounds of the Cold-Pressed Hempseed Oil during Storage. *Antioxidants*. 2023;12(6):1231. DOI: 10.3390/antiox12061231.
19. Rupasinghe HPV, Davis A, Kumar SK, et al. Industrial Hemp (*Cannabis sativa* subsp. *sativa*) as an Emerging Source for Value-Added Functional Food Ingredients and Nutraceuticals. *Molecules*. 2020;25(18):4078. DOI: 10.3390/molecules25184078.
20. Wallis JG, Bengtsson JD, Browse J. Molecular Approaches Reduce Saturates and Eliminate *trans* Fats in Food Oils. *Frontiers in Plant Science*. 2022;13:908608. DOI: 10.3389/fpls.2022.908608.
21. Da Porto C, Natolino A, Decorti D. Effect of ultrasound pre-treatment of hemp (*Cannabis sativa* L.) seed on supercritical CO<sub>2</sub> extraction of oil. *Journal of Food Science and Technology*. 2015;52(3):1748-1753. DOI: 10.1007/s13197-013-1143-3.
22. Baldino N, Carnevale I, Mileti O, et al. Hemp Seed Oil Extraction and Stable Emulsion Formulation with Hemp Protein Isolates. *Applied Sciences*. 2022;12(23):11921. DOI: 10.3390/app122311921.
23. Capcanari T, Covaliov E, Negoita C. Harnessing Hemp (*Cannabis sativa* L.) Seed Cake Proteins: From Concentrate Production to Enhanced Choux Pastry Quality. *Foods*. 2025;14(4):567. DOI: 10.3390/foods14040567.
24. Jaouhari Y, Travaglia F, Giovannelli L, et al. From Industrial Food Waste to Bioactive Ingredients: A Review on the Sustainable Management and Transformation of Plant-Derived Food Waste. *Foods*. 2023;12(11):2183. DOI: 10.3390/foods12112183.
25. Teh SS, Bekhit AED, Carne A, et al. Effect of the defatting process, acid and alkali extraction on the physicochemical and functional properties of hemp, flax and canola seed cake protein isolates. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2014;8:92-104. DOI: 10.1007/s11694-013-9168-x.
26. Mendoza-Pérez RJ, Náthia-Neves G, Blanco B, et al. Physicochemical Characterisation of Seeds, Oil and Defatted Cake of Three Hempseed Varieties Cultivated in Spain. *Foods*. 2024;13(4):531. DOI: 10.3390/foods13040531.
27. Rakita S, Kokić B, Manoni M, et al. Cold-Pressed Oilseed Cakes as Alternative and Sustainable Feed Ingredients: A Review. *Foods*. 2023;12(3):432. DOI: 10.3390/foods12030432.
28. Mamone G, Picariello G, Ramondo A, et al. Production, digestibility and allergenicity of hemp (*Cannabis sativa* L.) protein isolates. *Food Research International*. 2019;115:562-571. DOI: 10.1016/j.foodres.2018.09.017.
29. Liu X, Xue F, Adhikari B. Recent advances in plant protein modification: spotlight on hemp protein. *Sustainable Food Technology*. 2024. DOI: 10.1039/D3FB00215B.
30. Shen P, Shen P, Gao Z, et al. Ferreting out the secrets of industrial hemp protein as emerging functional food ingredients. *Trends in Food Science and Technology*. 2021;112:1-15. DOI: 10.1016/J.TIFS.2021.03.022.
31. Geng L, Liu K, Zhang H. Lipid oxidation in foods and its implications on proteins. *Frontiers in Nutrition*. 2023;10:1192199. DOI: 10.3389/fnut.2023.1192199.
32. Kostić MD, Joković NM, Stamenković OS, et al. Optimization of hempseed oil extraction by n-hexane. *Industrial crops and products*. 2013;48:133-143. DOI: 10.1016/j.indcrop.2013.04.028.
33. Reyes-Reyes AL, Valero Barranco F, Sandoval G. Recent Advances in Lipases and Their Applications in the Food and Nutraceutical Industry. *Catalysts*. 2022;12(9):960. DOI: 10.3390/catal12090960.
34. Liu X, Wang M, Xue F, et al. Application of ultrasound treatment to improve the technofunctional properties of hemp protein isolate. *Future Foods*. 2022;6:100176. DOI: 10.1016/j.fufo.2022.100176.

Информация об авторах:

**Иван Андреевич Фоменко**<sup>1</sup>, доцент кафедры биотехнологии и биоорганического синтеза, кандидат технических наук

**Ирина Михайловна Чернуха**<sup>2</sup>, главный научный сотрудник кафедры биотехнологии и биоорганического синтеза, доктор технических наук, профессор, академик РАН

**Денис Игоревич Алексаночкин**<sup>3</sup>, аспирант кафедры биотехнологии и биоорганического синтеза

**Хатем Гернуг**<sup>4</sup>, аспирант кафедры конструирования функциональных продуктов питания и нутрициологии

**Наталья Геннадьевна Машенцева**<sup>5</sup>, профессор кафедры биотехнологии и биоорганического синтеза, доктор технических наук

Information about the authors:

**Ivan Andreevich Fomenko**<sup>1</sup>, Associate Professor at the Department of Biotechnology and Bioorganic Synthesis, Candidate of Technical Sciences

**Irina Mihajlovna Chernukha**<sup>2</sup>, Chief Researcher, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences

**Denis Igorevna Aleksanochkin**<sup>3</sup>, Postgraduate student at the Department of Biotechnology and Bioorganic Synthesis

**Hatem Gernug**<sup>4</sup>, Postgraduate student at the Department of Design of Functional Food Products and Nutriology

**Natalia Gennadievna Mashentseva**<sup>5</sup>, Professor at the Department of Biotechnology and Bioorganic Synthesis, Doctor of Technical Sciences

