

Технология получения концентрата энтомопротеина из инновационного продовольственного сырья животного происхождения

Н.В. Тышко*, К.А. Тимошенко, Э.О. Садыкова, С.И. Шестакова, Н.С. Никитин, М.Д. Требух, А.А. Станкевич, В.А. Пашорина

Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, 109240, Россия, г. Москва, Устьинский проезд, д. 2/14

*Автор, ответственный за переписку, email: tnv@ion.ru

Аннотация

Цель. Определение оптимальных технологических параметров для выделения концентрата энтомопротеинов из мучного хрущака (*Tenebrio molitor*), сверчка домового (*Acheta domesticus*) и черной львинки (*Hermetia illucens*) с содержанием белка не менее 65%, с возможностью масштабирования процессов для использования в современной пищевой промышленности. **Материал и методы.** Объектом исследований служила замороженная или высушенная биомасса мучного хрущака, сверчка домового и черной львинки. Для выделения энтомопротеинов использовались методы экстракции, фильтрации и сушки. Анализ содержания белков проводили методами Кьельдаля, Лоури и Бредфорда. Анализ содержания жира по ГОСТу 23042-2015. **Результаты.** На основании анализа научной литературы о современных методах глубокой переработки растительного сырья (бобовых) и результатов собственных исследований по выделению белковой и жировой фракций из биомассы насекомых была разработана технология выделения концентрата белка из насекомых, основные стадии которой включают получение белковой, жировой и хитиновой фракций. Ключевую роль в процессе получения очищенного белка занимают стадии экстракции, концентрирования, очистки и сушки. Разработанная схема была испытана на биомассе *A. domesticus*, *T. molitor* и *H. illucens*, в результате чего были получены три лиофильно высушенных образца энтомопротеина, содержащих не менее 65% белка. **Выводы.** Определены оптимальные технологические параметры получения концентрата энтомопротеина из инновационного продовольственного сырья – мучного хрущака (*Tenebrio molitor*), сверчка домового (*Acheta domesticus*) и черной львинки (*Hermetia illucens*). Оптимизированные условия выделения жировой и белковой фракций позволяют не только получить очищенный энтомопротеин без использования дорогостоящих и токсичных реактивов, но и перейти от лабораторного к полупромышленному получению белка. Исследования концентрата энтомопротеина (содержание белка не менее 65%) подтвердили его высокую биологическую ценность, сопоставимую с традиционными источниками полноценного белка.

Ключевые слова: концентрат белка; энтомопротеин; технология получения белка; насекомые; инновационное продовольственное сырье животного происхождения

Для цитирования: Тышко Н.В., Тимошенко К.А., Садыкова Э.О., Шестакова С.И., Никитин Н.С., Требух М.Д., Станкевич А.А., Пашорина В.А. Технология получения концентрата энтомопротеина из инновационного продовольственного сырья животного происхождения. *Здоровье мегаполиса*. 2025;6(3):119-133. <https://doi.org/10.47619/2713-2617.zm.2025.v.6i3:119-133>

УДК 664

<https://doi.org/10.47619/2713-2617.zm.2025.v.6i3;119-133>

Insect Protein Concentrate Production from Innovative Animal-Based Food Raw Materials

Nadezhda V. Tyshko*, Kseniya A. Timoshenko, Elvira O. Sadykova, Svetlana I. Shestakova, Nikolay S. Nikitin, Marina D. Trebukh, Angelina A. Stankevich, Valentina A. Pashorina

Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, 2/14, Ustinsky Proyezd, Moscow, 109240, Russian Federation

*Corresponding author, email: tnv@ion.ru

Abstract

The purpose of this work was to determine the optimal technological parameters for the production of insect protein concentrate from mealworm (*Tenebrio molitor*), house cricket (*Acheta domesticus*) and black soldier fly (*Hermetia illucens*) with a protein content of at least 65% with possible scalability for modern food industry purposes. **Materials and methods.** In this work, frozen and dried biomass of mealworm, house cricket and black soldier fly was studied. Extraction, filtration and drying methods to isolate the insect proteins were used. To analyze protein concentration, Kjeldahl, Lowry and Bradford methods were used. Lipid concentration was analysed according to GOST 23042-2015. **Results.** Based on the review of scientific literature on modern deep-processing methods of plant-based raw materials (legumes) and the author's own research on isolating protein and lipid fractions from insect biomass, a technology of protein concentrate extraction from insects was developed. The key stages include obtaining protein, lipid, and chitin fractions. The crucial role in the process of obtaining purified protein involve extraction, concentration, purification and drying. The developed scheme was tested on the biomass produced from *A. domesticus*, *T. molitor*, and *H. illucens*, resulting in three freeze-dried samples of insect protein containing at least 65% protein. **Conclusion.** Optimal technological parameters for the production of insect protein concentrate from innovative food raw materials, namely, *Tenebrio molitor*, *Acheta domesticus* and *Hermetia illucens*, were determined. The optimized conditions for isolating lipid and protein fractions enable not only to obtain purified insect protein without costly and toxic reagents, but also the transition from laboratory to semi-industrial protein production. Studies of insect protein concentrate (minimum 65% protein content) proved its high biological value, comparable to traditional sources of complete protein.

Keywords: protein concentrate; insect protein; protein production technology; insects; innovative animal-based food raw materials

For citation: Tyshko N.V., Timoshenko K.A., Sadykova E.O., Shestakova S.I., Nikitin N.S., Trebukh M.D., Stankevich A.A., Pashorina V.A. Insect Protein Concentrate Production Technology from Innovative Animal-Based Food Raw Materials. *City Healthcare*. 2025;6(3):119-133. <https://doi.org/10.47619/2713-2617.zm.2025.v.6i3;119-133>

© Nadezhda V. Tyshko*, Kseniya A. Timoshenko, Elvira O. Sadykova, Svetlana I. Shestakova, Nikolay S. Nikitin, Marina D. Trebukh, Angelina A. Stankevich, Valentina A. Pashorina, 2025

© This article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International.

Введение

Используемый в настоящее время обширный арсенал способов переработки сельскохозяйственного сырья позволяет осуществлять его комплексную трансформацию с получением отдельных фракций белков, жиров, углеводов, пищевых волокон, а также витаминов и биологически активных веществ. Эффективные биотехнологические, химические и физические методы предоставляют возможность конструировать конечные продукты с заданным составом и потребительскими свойствами, бесконечно расширяя возможности для создания персонализированных рационов питания. Возрастающие потребности современного агропромышленного комплекса формируют необходимость расширения ассортимента используемого сырья за счет нетрадиционных источников белка, в частности белка насекомых.

Анализ научной литературы позволил выделить основные направления исследований в области технологии получения отдельных фракций энтомопротеина. Работы, связанные с данной тематикой, выполнялись как в странах Азиатско-Тихоокеанского региона и Латинской Америки, имеющих опыт пищевого применения насекомых (Корея, Китай, Австралия, Мексика, Бразилия), так и в странах Европы (Ирландия, Бельгия, Испания, Дания, Швеция), Канаде и США, для которых насекомые относятся к новым источникам белка. В первую очередь в публикациях представлены методы препаративного выделения, направленные на изучение качества протеина насекомых, его аминокислотного состава, биологической ценности и усвояемости [1–23], протеомного состава [24–28] и функциональных свойств [29–32]. Методы, применяемые для выделения энтомопротеинов, включали использование концентрированных солевых и щелочных растворов, ферментных препаратов и хелатирующих агентов, содержание которых в конечном продукте недопустимо, что требовало разработки экологических способов выделения и очистки белка насекомых с возможностью дальнейшего масштабирования.

Энтомопротеин представляет собой белок животного происхождения, характеризующийся высокой биологической ценностью и сбалансированным аминокислотным составом: наряду с казеином и овальбумином его можно рассматривать в качестве источника изолейцина, лизина, треонина, триптофана, валина, гистидина, фенилаланина и тирозина и других незаменимых аминокислот. Количество белка в муке, полученной с использованием насекомых, в 1,3 раза превышает таковое в соевых бобах, в 2,3 раза – в нуте. Функционально-технологиче-

ские свойства энтомопротеинов в ряде случаев превосходят свойства белков, полученных из традиционных источников, что делает их весьма перспективным сырьем для пищевых производств. Принимая во внимание проблемы использования нативной биомассы насекомых (высокое содержание хитина, аллергенность, повышенное содержание целого ряда микроэлементов, микробиологическая обсемененность), для применения в пищевой промышленности насекомые должны подвергаться переработке, аналогичной применяемой в настоящее время для семян сои и включающей выделение белковой (энтомопротеин), жировой и хитиновой фракций [1, 2, 3].

Выделение белка требует реализации многостадийного процесса, варьируемого в зависимости от свойств субстрата. Такая обработка за счет термического воздействия и фракционирования позволит решить вопросы микробиологической безопасности, аллергенности [12], снижения содержания хитина и минеральных компонентов. Принимая во внимание химический состав сырья из насекомых, были исследованы условия выполнения основных стадий в зависимости от характеристик исходного материала. В рамках данного исследования были выбраны оптимальные условия для каждой стадии получения энтомопротеина.

С учетом того что для получения чистого энтомопротеина требуется переработка исходной массы насекомых, в процессе которой также извлекаются вторичные продукты – жир и хитин, имеющие самостоятельное применение, реализация проекта имеет дополнительную прикладную значимость.

Целью данной работы являлось определение оптимальных технологических параметров для выделения концентрата энтомопротеинов из мучного хрущака (*Tenebrio molitor*), сверчка домового (*Acheta domesticus*) и черной львинки (*Hermetia illucens*) с содержанием белка не менее 65%, с возможностью масштабирования процессов для использования в современной пищевой промышленности.

Материал и методы

Объектом исследований служила измельченная замороженная и высушенная биомасса *T. molitor*, *A. domesticus* и *H. illucens*. Для выделения жировой фракции навески исследуемого материала подвергались обработке экстрагентами при комнатной температуре (не менее чем в трех повторностях). Полученный экстракт тщательно отделяли на складчатом фильтре, промывая осадок экстракционной смесью. Для выделения энтомопротеинов использовались методы экс-

тракции в щелочной среде, фильтрации (оборудование Millipore Pellicon® Stainless Steel Holder и установка АСФ-018 ЗАО «Владисарт») и сушки (сушилка лиофильная Alpha 1-5). Анализ содержания белков проводили методами Кьельдаля, Лоури и Бредфорда. Анализ содержания жира по ГОСТу 23042-2015 «Мясо и мясные продукты. Методы определения жира».

Результаты

Выделение жировой фракции является важным этапом получения энтомопротеинов как с точки зрения степени очистки получаемого белка, так и ценности липидов насекомых как дополнительного продукта технологии. Большинство литературных источников указывают на необходимость удаления липидов, так как экстракция белков, проводимая без предварительного удаления жировой фракции, часто приводит к получению продукции интенсивного бурого цвета, помимо этого, в продукте остается значительное количество жиров, что снижает качество белкового продукта [4, 5].

Наравне с прямым отжимом для извлечения жиров из биомассы насекомых применяется экстракция смесью органических растворителей или чистыми веществами, такими как хлороформ, метанол, гексан, этанол, петролейный эфир, изопропанол с последующей отгонкой раство-

рителей [6–10]. Метод органической экстракции имеет ряд преимуществ, к которым относится более глубокое извлечение жиров и возможность обрабатывать как высушенную, так и нативную или замороженную биомассу. При этом органический растворитель расходуется экономно и может быть использован в процессе экстракции повторно, после разделения жира и растворителя с помощью роторного испарителя.

Для определения оптимальной экстрагирующей смеси при выделении липидной фракции из насекомых были выбраны наиболее часто используемые органические растворители. В качестве экстрагента использовалась смесь компонентов, различающихся по полярности. С точки зрения индекса полярности по своим свойствам изопропанол наиболее близок к хлороформу, применяемому к контрольной смеси, поэтому для нашего исследования, в частности, была использована смесь изопропанол:этанол (2:1). В качестве альтернативной смеси может быть использована смесь неполярного гексана, применяемого для экстракции масел из растительного сырья, и полярного этанола (табл. 1).

Эффективность выделения жировой фракции показана на примере высушенной биомассы *H. illucens*. Степень экстракции жиров определяли как отношение массы жиров, удаленных в процессе экстракции, к массе общей навески насекомых. Данные эксперимента приведены в таблице 2.

Таблица 1 – Свойства растворителей
Table 1 – Solvent properties

Растворитель	Индекс полярности	Температура кипения (°C)	Вязкость (мПа·с; 20 °C)	Смешиваемость с водой
Хлороформ	4,1	61	0,57	0,815
Этиловый спирт	5,2	78	1,20	100
Гексан	0,0	69	0,33	0,001
Изопропанол	3,9	82	2,30	100

Составлено авторами.
Compiled by the authors.

Эффективность выделения жировой фракции с использованием смеси гексан:этанол оказалась наиболее низкой по сравнению со смесью изопропанол:этанол и контрольной смесью хло-

роформ:этанол. Таким образом, для удаления липидной фракции из насекомых с наибольшими выходами следует использовать смесь изопропанол:этанол.

Таблица 2 – Сравнение эффективности экстракции жиров из образцов *H. Illucens*
Table 2 – Comparison of lipid extraction efficiency from *H. illucens* samples

Экстрагент	Соотношение растворителей	Эффективность экстракции липидов, процент от общей массы
Хлороформ:этанол	2:1	27,0±1,0
Гексан:этанол	2:1	19,0±0,5
Изопропанол:этанол	2:1	24,0±0,4

Составлено авторами.
 Compiled by the authors..

Для сокращения продолжительности процесса было исследовано влияние температуры на эффективность экстракции жиров с учетом имеющейся в литературе информации о влиянии термической обработки на стадиях, предшествующих выделению энтомопротеина. Во время нагревания биомассы перед экстракцией протеина выход экстрагируемого растворимого белка резко падает, переходя от примерно 50% от общего количества белков до значений ниже 20%. Денатурация энтомопротеина снижает его растворимость в воде аналогично тому, как это наблюдается для белков мяса, что затрудня-

ет дальнейшее выделение белка, поэтому оптимальная температура экстракции жиров не только не должна приближаться к температуре кипения экстрагентов, но и не должна превышать 60 °С для облегчения экстракции энтомопротеина [4, 11].

В качестве объектов исследования использовали измельченную высушенную биомассу *H. illucens* (содержание жира 38%), *T. molitor* (содержание жира 26%) и *A. domesticus* (содержание жира 30%) не менее чем в трех повторностях. Продолжительность экстракции сократили до 1 ч. Результаты представлены на рисунке 1.

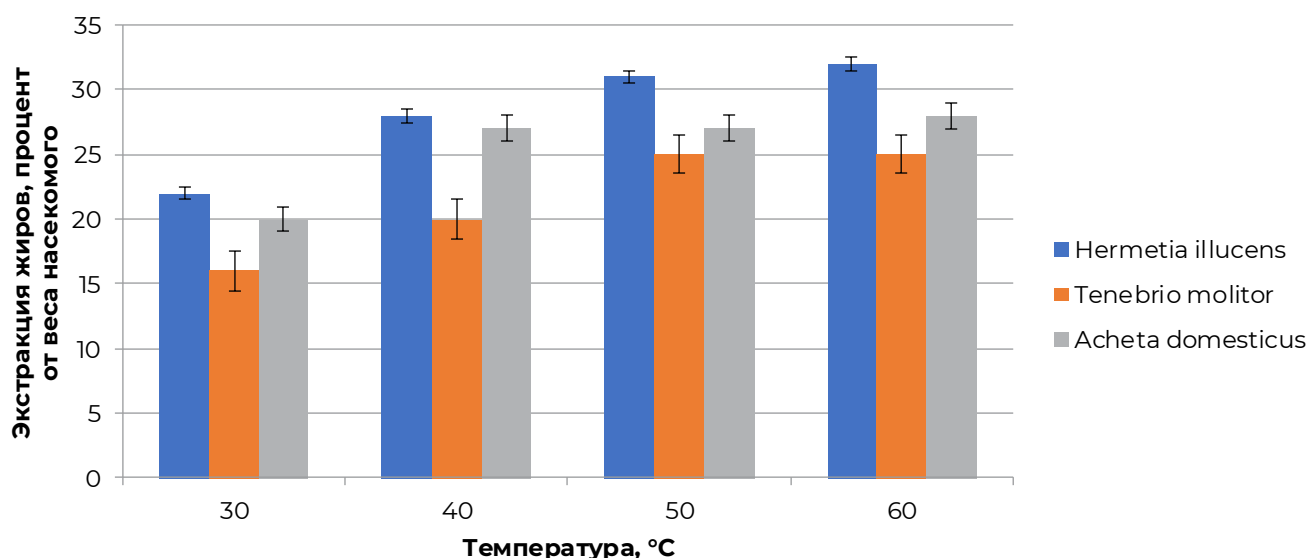


Рис. 1 – Сравнение эффективности экстракции жиров из биомассы *H. illucens*, *T. molitor* и *A. domesticus* в зависимости от температуры процесса
Fig. 1 – Comparison of lipid extraction efficiency from biomass produced from *H. illucens*, *T. molitor* and *A. domesticus* depending on process temperature

Составлено авторами.
 Compiled by the authors..

Из приведенных данных видно, что для образцов *H. illucens* после достижения температуры экстракции 50 °С дальнейшее увеличение выхода жиров не наблюдалось. Для образцов мучного хрущака *T. molitor* и домового сверчка *A. domesticus* оптимальные температуры экстракции составили 50 и 40 °С соответственно. Таким образом, для наиболее эффективного выделения жировой фракции из биомассы насекомых оптимальная температура экстракции составляет 50 °С, при этом удаляется не менее 85% жира.

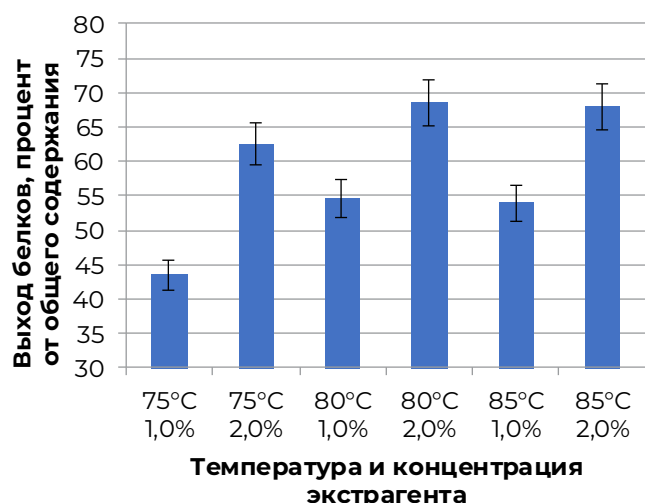
Анализ эффективности выделения жиров из биомассы насекомых (*H. illucens*, *T. molitor* и *A. domesticus*) показал: наибольший выход жиров наблюдается при обработке смесью изопропанол:этанол (2:1). Вместо нее может быть использована смесь гексан:этанол (2:1), однако в этом случае эффективность экстракции жиров будет ниже на 15–20%. Из-за образования двухфазной системы в суспензии биомассы насекомых и органического экстрагента (гексан нерастворим в воде, частично растворим в этаноле) разделение жирового экстракта и хитиново-белкового осадка будет затруднено. Для сокращения продолжительности экстракции до 1 ч без потери эффективности температура экстракции должна быть повышена до 50 °С.

Основным этапом переработки биомассы насекомых является экстракция белков. Ана-

лиз последних работ, связанных с выделением протеина из насекомых, показал: данные о количестве белков, которые могут быть экстрагированы из измельченной обезжиренной биомассы насекомых в водные растворы, изменяются в широком диапазоне в зависимости от условий экстракции. В данном процессе важную роль играет концентрация экстрагента, pH среды, продолжительность процесса и температура. Согласно литературным источникам, при щелочных значениях pH, далеких от изоэлектрической точки белка, возможен наибольший выход экстракции белка, в то время как при кислых значениях pH возможно получить белок низкого качества из-за снижения содержания некоторых аминокислот, таких как триптофан [8, 10, 12–15].

Выбор исследуемого диапазона температур и концентрации экстрагента был обоснован необходимостью дальнейшей очистки образцов белка. Чем выше концентрация щелочного экстрагента (гидроксида натрия или калия), тем сложнее в дальнейшем будет удаление солевой фракции на стадии концентрирования и очистки белка, поэтому концентрация щелочного компонента не превышала 2%. Для полного удаления остатков органических экстрагентов жировой фракции температура процесса экстракции должна быть приближена к 75–80 °С.

Acheta domesticus высушенный



Acheta domesticus замороженный

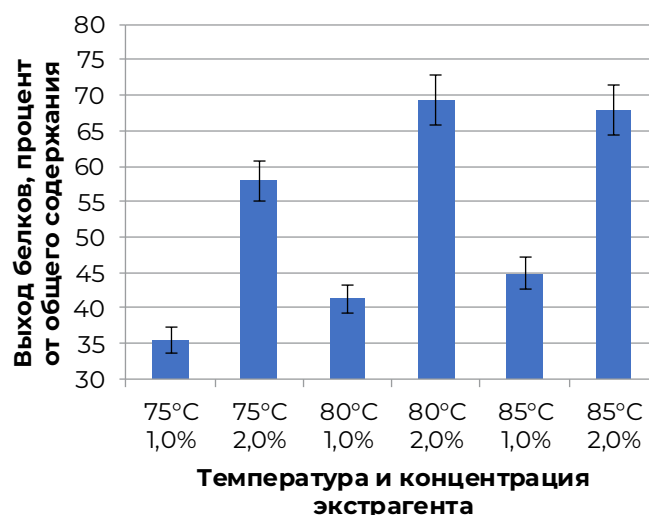


Рис. 2 – Эффективность выделения белковой фракции из *A. domesticus* в зависимости от температуры, продолжительности экстракции и концентрации щелочи
Fig. 2 – Efficiency of protein fraction extraction from *A. domesticus* depending on temperature, extraction duration and alkali concentration

Составлено авторами.
 Compiled by the authors.

Исследование влияния температуры и продолжительности экстракции на эффективность выделения белковой фракции из образцов биомассы мучного хрущака *T. molitor* и домового сверчка *A. domesticus* (рис. 2, 3) позволило выявить зависимость эффективности экстракции белка от способа предподготовки.

Из измельченных замороженных образцов белок выделялся эффективнее, чем из измельченных высушенных, независимо от вида насекомого, что подтверждает негативное влияние повышенной температуры на стадиях, предшествующих экстракции белка. Было установлено, что оптимальной температурой экстракции является 85 °С, при этом концентрация щелочного экстрагента составляет 2%, так как дальнейшее увеличение его содержания в экстракционной среде приводит к значительному увеличению расхода воды на стадии очистки белка.

На основании анализа литературных данных [4–9] о современных методах глубокой переработки растительного сырья (бобовых) и результатов собственных исследований [1] по выделению белковой и жировой фракций из биомассы насекомых была разработана технология выделения белка из насекомых, основные стадии которой включают получение белковой, жировой и хитиновой фракций (рис. 4). Каждая стадия

рассматривалась с возможностью дальнейшего масштабирования и получения энтомопротеина с минимальным количеством примесей.

Ключевую роль в процессе получения очищенного белка занимает стадия концентрирования и очистки. Для этого был выбран современный метод ультрафильтрации, широко применяемый в пищевой и медицинской промышленности. В работе использовалось оборудование, выпускаемое как для лабораторного, так и полупромышленного применения.

Разработанная технология была испытана на биомассе *A. domesticus*, *T. molitor* и *H. illucens*, в результате чего были получены три лиофильно высушенных образца энтомопротеина, содержащих не менее 65% белка (рис. 5). Было отмечено, что образцы, полученные из личиночных форм насекомых (*T. molitor* и *H. illucens*), содержали повышенное количество сахаров, что может быть связано с активной фазой роста. Содержание жира не превышало 5%, влажность не превышала 10%, что способствует возможности установления срока годности такого продукта не менее 1 года. Зольность первых двух образцов составляла 6,1–8,2%, однако использование гидроксида калия вместо гидроксида натрия на стадии экстракции белка из *H. illucens* позволило сократить содержание минеральных примесей до 5,3%.

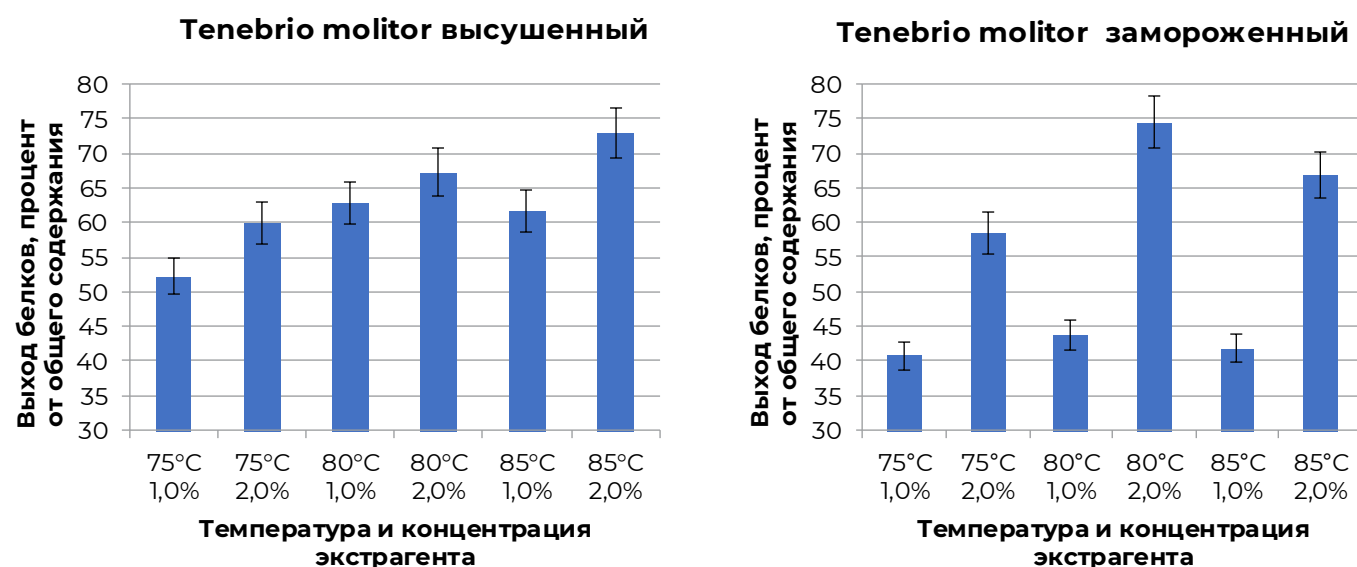


Рис. 3 – Эффективность выделения белковой фракции из *T. molitor* в зависимости от температуры, продолжительности экстракции и концентрации щелочи
Fig. 3 – Efficiency of protein fraction extraction from *T. molitor* depending on temperature, extraction duration and alkali concentration

Составлено авторами.
 Compiled by the authors..

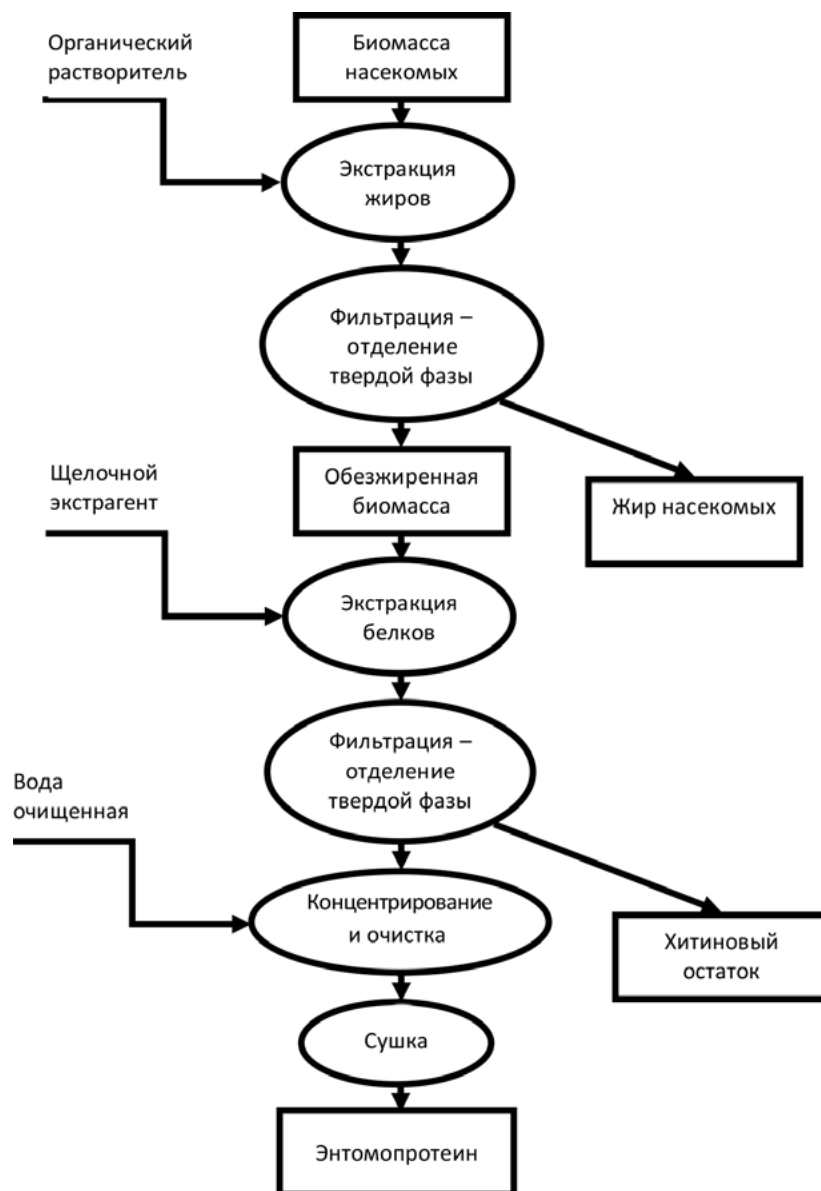


Рис. 4 – Основные стадии получения энтомопротеина
Fig. 4 – Main stages of insect protein production

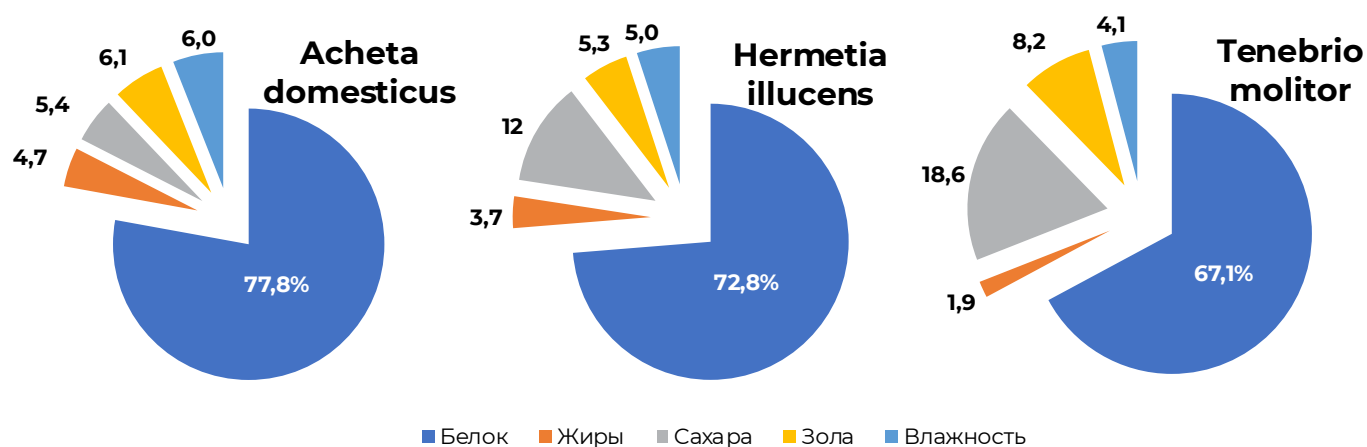


Рис. 5 – Химический состав образцов энтомопротеина, выделенного из *A. domesticus*, *T. molitor* и *H. illucens*
Fig. 5 – Chemical composition of insect protein samples isolated from *A. domesticus*, *T. molitor* and *H. illucens*

Составлено авторами.
Compiled by the authors.

В полученном образце энтомопротеина *A. domesticus* был определен аминокислотный состав (табл. 3), подтверждено присутствие всех незаменимых аминокислот.

Сравнение биологической ценности энтомопротеина *A. domesticus* с другими белками животного и растительного происхождения представлено в таблице 4. Концентрат энтомопротеина отличался высокой биологической ценностью, его аминокислотный профиль в целом не уступал традиционным источникам полноценного белка, гарантируя обеспечение потребности в незаменимых аминокислотах различных возрастных групп потребителей.

Выводы

Определены оптимальные технологические параметры получения концентрата энтомопротеина из инновационного продовольственного сырья – мучного хрущака (*Tenebrio molitor*), сверчка

домового (*Acheta domesticus*) и черной львинки (*Hermetia illucens*). Наиболее эффективное выделение жировой фракции продемонстрировано в системе растворителей изопропанол: этанол в соотношении 2:1 при температуре не выше 60 °C в течение 1 ч, белка – в процессе экстракции 2% раствором гидроксида натрия при температуре 85 °C не более 1 ч. Оптимизированные условия выделения жировой и белковой фракций позволяют не только получить очищенный энтомопротеин без использования дорогостоящих и токсичных реактивов, но и перейти от лабораторного к полупромышленному получению. Исследования концентрата (содержание белка не менее 65%) энтомопротеина подтвердили его высокую биологическую ценность, сопоставимую с традиционными источниками полноценного белка.

Результаты исследования, во-первых, могут послужить основой для формирования научных принципов глубокой переработки перспективного сырья из насекомых, включая получение побочных продуктов (жир, хитин, хитозан), имеющих

Таблица 3 – Аминокислотный состав полученного энтомопротеина *A. Domesticus*
Table 3 – Amino acid composition of the obtained insect protein of *A. domesticus*.

Аминокислота	Содержание, мг/г белка
Глутаминовая	118,3
Аланин	94,7
Аспарагиновая	88,6
Лейцин	87,9
Тирозин	65,2
Валин	65,0
Аргинин	64,6
Пролин	63,1
Лизин	61,4
Глицин	58,6
Серин	49,6
Изолейцин	47,3
Фенилаланин	35,6
Треонин	34,8
Гистидин	27,6
Метионин	15,4
Цистин	12,2
Триптофан	10,2

Составлено авторами.
Compiled by the authors.

Таблица 4 – Содержание аминокислот в концентрате белка *A. domesticus* и традиционных пищевых продуктах, мг/г белка в пересчете на сухое вещество
Table 4 – Amino acid content in *A. domesticus* protein concentrate and conventional food products, mg/g protein (dry matter basis)

Аминокислоты	Источник аминокислот					Шкала потребности в незаменимых аминокислотах различных возрастных групп населения, FAO/WHO, мг/г белка	
	Концентрат белка <i>A. domesticus</i>	Пищевые продукты животного происхождения		Пищевые продукты растительного происхождения			
		Казеин	Белок куриного яйца	Соевые бобы	Нут	Дети (6 мес. – 3 года)	Дети старшего возраста, подростки и взрослые
Изолейцин	47,3	52	57	47	68,2	32	30
Лейцин	87,9	97	83	79	75,6	66	61
Лизин	61,4	80	62	66	76,6	57	48
Метионин + Цистин/цистеин	27,6	34	63	30	31,1	27	23
Треонин	34,8	43	44	38	39,3	31	25
Триптофан	10,2	13	15	11	11	8,5	6,6
Валин	65,0	67	67	50	45,8	43	40
Гистидин	27,6	31	23	27	42,8	20	16
Фенилаланин + тирозин	100,8	108	97	86	78,5	52	41
Сумма	462,6	525	511	434	468,9	337	291

Составлено авторами.
Compiled by the authors.

самостоятельную значимость; во-вторых, будут способствовать развитию пищевых производств, осваивающих новые технологии, и созданию рецептур пищевых продуктов со сбалансированным составом, где важную роль источника протеинов занимают белковые изоляты и концентраты.

Дальнейшее развитие технологии получения энтомопротеинов предполагает ее оптимизацию и масштабирование на полупромышленном оборудовании в соответствии со специфическими условиями эксплуатации процессов и аппаратов производственного процесса.

Список литературы

1. Садыкова Э.О. Методические аспекты определения массовой доли белка в продовольственном сырье, полученном из насекомых. *Вопросы питания. Приложение*. 2023;92(5):200-201. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2023-92-5s-245>
2. Janssen R.H., Vincken J.P., van den Broek L.A., Fogliano V., Lakemond C.M. Nitrogen-to-Protein Conversion Factors for Three Edible Insects: *Tenebrio Molitor*, *Alphitobius Diaperinus*, and *Hermetia illucens*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2017;65(11):2275-2278. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b00471>
3. Boulos S., Tännler A., Nyström L. Nitrogen-to-Protein Conversion Factors for Edible Insects on the Swiss Market: *T. Molitor*, *A. Domesticus* and *L. Migratoria*. *Front. Nutr.* 2020;7:89. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.00089>
4. Jeong M.S., Lee S.D., Cho S.J. Effect of Three Defatting Solvents on the Techno-Functional Properties of an Edible Insect (*Gryllus Bimaculatus*) Protein Concentrate. *Molecules*. 2021;26(17):5307. <https://doi.org/10.3390/molecules26175307>

5. Nagdalian A.A., Oboturova N.P., Krivenko D.V. et al. Why Does the Protein Turn Black While Extracting It from Insect's Biomass? *Journal of Hygienic Engineering and Design*. 2019;29:145-150.
6. Liceaga A.M. Processing Insects for Use in the Food and Feed Industry. *Current Opinion in Insect Science*. 2021;48:32-36. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2021.08.002>
7. Liceaga A.M., Aguilar-Toalá J.E., Vallejo-Cordoba B., González-Córdova A.F. Hernández-Mendoza A. Insects as an Alternative Protein Source. *Annual Review of Food Science and Technology*. 2022;13:19-34 <https://doi.org/10.1146/annurev-food-052720-112443>
8. Rahman M.M., Byanju B., Lamsal B.P. Protein, Lipid, and Chitin Fractions from Insects: Method of Extraction, Functional Properties, and Potential Applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2023;64(18):6415-6431. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2168620>
9. Rashmi V.A. Functional Insect Protein Extracts for Food Applications. Edmond, Oklahoma: Jackson College of Graduate Studies; 2019. <https://shareok.org/bitstream/handle/11244/325105/VadiveluAmarendarR2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
10. Smets R., Verbinen B., Van De Voorde I. et al. Sequential Extraction and Characterisation of Lipids, Proteins, and Chitin from Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae, Prepupae, and Pupae. *Waste Biomass Valor*. 2020;11:6455-6466. <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00924-2>
11. Daylan A., Tzompa S., Vincenzo F. Potential of Insect-Derived Ingredients for Food Applications in: Shields V.D.C. *Insect Physiology and Ecology*. London: IntechOpen; 2017. <https://doi.org/10.5772/67619>
12. Bose U., Broadbent J.A., Juhász A., Karnaneedi S., Johnston E.B., Stockwell S. Comparison of Protein Extraction Protocols and Allergen Mapping from Black Soldier Fly *Hermetia illucens*. *Journal of Proteomics*. 2022;269:104724. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2022.104724>
13. Suchintita D.R., Tiwari B.K., Chemat F., Garcia-Vaquero M. Impact of Ultrasound Processing on Alternative Protein Systems: Protein Extraction, Nutritional Effects and Associated Challenges. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2022;91:106234 <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106234>
14. Kim T.K., Yong H.I., Jang H.W., Jung S., Choi Y.S. Effect of Extraction Condition on Technological Properties of Protein from *Protaetia brevitaris* Larvae. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2022;8(2):147-155. <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0144>
15. Queiroz L.S., Regnard M., Jessen F., Mohammadifar M.A., Sloth J.J., Petersen H.O. Physico-Chemical and Colloidal Properties of Protein Extracted from Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2021;186:714-723. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.07.081>
16. Ma Z., Mondor M., Goycoolea Valencia F., Hernández-Álvarez A.J. Current State of Insect Proteins: Extraction Technologies, Bioactive Peptides and Allergenicity of Edible Insect proteins. *Food & Function*. 2023;14(18):8129-156. <https://doi.org/10.1039/d3fo02865h>
17. Kourimská L., Adámková A. Nutritional and Sensory Quality of Edible Insects. *NFS Journal*. 2016;4:22-26. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2016.07.001>
18. Sampat G., So-Min L., Chuleui J., Meyer-Rochow V. Nutritional Composition of Five Commercial Edible Insects in South Korea. *Journal of Asia-Pacific Entomology*. 2017;20(2):686-694. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2017.04.003>
19. Hasnan F.F.B., Feng Y., Sun T., Parraga K., Schwarz M., Zarei M. Insects as Valuable Sources of Protein and Peptides: Production, Functional Properties, and Challenges. *Foods*. 2023;12(23):4243. <https://doi.org/10.3390/foods12234243>
20. Oliveira L.A., Pereira S.M.S., Dias K.A. et al. Nutritional Content, Amino Acid Profile, and Protein Properties of Edible Insects (*Tenebrio molitor* and *Gryllus assimilis*) Powders at Different Stages of Development. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2023;125:105804. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105804>
21. Kröncke N., Benning R. Influence of Dietary Protein Content on the Nutritional Composition of Mealworm Larvae (*Tenebrio molitor* L.). *Insects*. 2023;14(3):261. <https://doi.org/10.3390/insects14030261>
22. Oliveira L., Dias K.A., Pereira S.M.S., Vicente L.C.O.S. et al. Digestibility and Quality of Edible Insect Proteins: a Systematic Review of In Vivo Studies. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2023;9(10):1333-1344. <https://doi.org/10.3920/JIFF2022.0172>
23. Bodwell C.E., Satterlee L.D., Hackler L.R. Protein Digestibility of the Same Protein Preparations by Human and Rat Assays and by *In Vitro* Enzymic Digestion Methods. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 1980;33(3):677-686. <https://doi.org/10.1093/ajcn/33.3.677>

24. Barre A., Pichereaux C., Simplicien M., Burlet-Schiltz O., Benoist H., Rougé P. A Proteomic- and Bioinformatic-Based Identification of Specific Allergens from Edible Insects: Probes for Future Detection as Food Ingredients. *Foods*. 2021;10(2):280. <https://doi.org/10.3390/foods10020280>
25. Yi L., Van Boekel M.A.J.S., Boeren S. et al Protein identification and in vitro digestion of fractions from *Tenebrio molitor*. *European Food Research and Technology*. 2016;242:1285-1297. <https://doi.org/10.1007/s00217-015-2632-6>
26. Verhoeckx K.C.M., van Broekhoven S., den Hartog-Jager C.F. et al. House Dust Mite (Der p 10) and Crustacean Allergic Patients May React to Food Containing Yellow Mealworm Proteins. *Food and Chemical Toxicology*. 2014;65:364-373. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.12.049>
27. De Gier S., Verhoeckx K. Insect (Food) Allergy and Allergens. *Molecular Immunology*. 2018;100:82-106. <https://doi.org/10.1016/j.molimm.2018.03.015>
28. Montowska M., Kowalczewski P.L., Rybicka I., Fornal E. Nutritional Value, Protein and Peptide Composition of Edible Cricket Powders. *Food Chemistry*. 2019;289:130-138. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.062>
29. Zhao X., Vázquez-Gutiérrez J.L., Johansson D.P., Landberg R., Langton M. Yellow Mealworm Protein for Food Purposes Extraction and Functional Properties. *PloS ONE*. 2016;11(2):e0147791. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0147791>
30. Gravel A., Doyen A. The Use of Edible Insect Proteins in Food: Challenges and Issues Related to Their Functional Properties. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2020;59:102272. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102272>
31. Hall F.G., Jones O.G., O'Haire M.E., Liceaga A.M. Functional Properties of Tropical Banded Cricket (*Gryllosigillatus*) Protein Hydrolysates. *Food Chemistry*. 2017;224:414-422. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.138>
32. Ma Z., Mondor M., Goycoolea Valencia F., Hernández-Álvarez A.J. Current State of Insect Proteins: Extraction Technologies, Bioactive Peptides and Allergenicity of Edible Insect Proteins. *Food & Function*. 2023;14(18):8129-8156. <https://doi.org/10.1039/d3fo02865h>

References

1. Sadykova E.O. Methodological Aspects of Determining Protein Mass Fraction in Insect-Based Food Raw Materials. *Problems of Nutrition. Appendix*. 2023;92(5):200-201. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2023-92-5s-245> (In Russ)
2. Janssen R.H., Vincken J.P., van den Broek L.A., Fogliano V., Lakemond C.M. Nitrogen-to-Protein Conversion Factors for Three Edible Insects: *Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus*, and *Hermetia illucens*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2017;65(11):2275-2278. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b00471>
3. Boulos S., Tännler A., Nyström L. Nitrogen-to-Protein Conversion Factors for Edible Insects on the Swiss Market: *T. molitor*, *A. domesticus* and *L. migratoria*. *Front. Nutr.* 2020;7:89. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.00089>
4. Jeong M.S., Lee S.D., Cho S.J. Effect of Three Defatting Solvents on the Techno-Functional Properties of an Edible Insect (*Gryllus bimaculatus*) Protein Concentrate. *Molecules*. 2021;26(17):5307. <https://doi.org/10.3390/molecules26175307>
5. Nagdalian A.A., Oboturova N.P., Krivenko D.V. et al. Why Does the Protein Turn Black while Extracting It from Insect's Biomass? *Journal of Hygienic Engineering and Design*. 2019;29:145-150.
6. Liceaga A.M. Processing Insects for Use in the Food and Feed Industry. *Current Opinion in Insect Science*. 2021;48:32-36. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2021.08.002>
7. Liceaga A.M., Aguilar-Toalá J.E., Vallejo-Cordoba B., González-Córdova A.F., Hernández-Mendoza A. Insects as an Alternative Protein Source. *Annual Review of Food Science and Technology*. 2022;13:19-34. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-052720-112443>
8. Rahman M.M., Byanju B., Lamsal B.P. Protein, Lipid, and Chitin Fractions from Insects: Method of Extraction, Functional Properties, and Potential Applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2023;64(18):6415-6431. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2168620>

9. Rashmi V.A. Functional Insect Protein Extracts for Food Applications. Edmond, Oklahoma: Jackson College of Graduate Studies; 2019. <https://shareok.org/bitstream/handle/11244/325105/VadiveluAmarendarR2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
10. Smets R., Verbinen B., Van De Voorde I. et al. Sequential Extraction and Characterisation of Lipids, Proteins, and Chitin from Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae, Prepupae, and Pupae. *Waste Biomass Valor.* 2020;11:6455-6466. <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00924-2>
11. Daylan A., Tzompa S., Vincenzo F. Potential of Insect-Derived Ingredients for Food Applications in: Shields V.D.C, editor. *Insect Physiology and Ecology*. London: IntechOpen; 2017. <https://doi.org/10.5772/67619>
12. Bose U., Broadbent J.A., Juhász A., Karnaneedi S., Johnston E.B., Stockwell S. Comparison of Protein Extraction Protocols and Allergen Mapping from Black Soldier Fly *Hermetia illucens*. *Journal of Proteomics.* 2022;269:104724. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2022.104724>
13. Suchintita D.R., Tiwari B.K., Chemat F., Garcia-Vaquero M. Impact of Ultrasound Processing on Alternative Protein Systems: Protein Extraction, Nutritional Effects and Associated Challenges. *Ultrasonics Sonochemistry.* 2022;91:106234 <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106234>
14. Kim T.K., Yong H.I., Jang H.W., Jung S., Choi Y.S. Effect of Extraction Condition on Technological Properties of Protein from *Protaetia brevitaris* Larvae. *Journal of Insects as Food and Feed.* 2022;8(2):147-155. <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0144>
15. Queiroz L.S., Regnard M., Jessen F., Mohammadifar M.A., Sloth J.J., Petersen H.O. Physico-Chemical and Colloidal Properties of Protein Extracted from Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae. *International Journal of Biological Macromolecules.* 2021;186:714-723. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.07.081>
16. Ma Z., Mondor M., Goycoolea Valencia F., Hernández-Álvarez A.J. Current State of Insect Proteins: Extraction Technologies, Bioactive Peptides and Allergenicity of Edible Insect Proteins. *Food & Function.* 2023;14(18):8129-156. <https://doi.org/10.1039/d3fo02865h>
17. Kourimská L., Adámková A. Nutritional and Sensory Quality of Edible Insects. *NFS Journal.* 2016;4:22-26. <https://doi.org/j.nfs.2016.07.001>
18. Sampat G., So-Min L., Chuleui J., Meyer-Rochow V. Nutritional Composition of Five Commercial Edible Insects in South Korea. *Journal of Asia-Pacific Entomology.* 2017;20(2):686-694. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2017.04.003>
19. Hasnan F.F.B., Feng Y., Sun T., Parraga K., Schwarz M., Zarei M. Insects as Valuable Sources of Protein and Peptides: Production, Functional Properties, and Challenges. *Foods.* 2023;12(23):4243. <https://doi.org/10.3390/foods12234243>
20. Oliveira L.A., Pereira S.M.S., Dias K.A. et al. Nutritional Content, Amino Acid Profile, and Protein Properties of Edible Insects (*Tenebrio molitor* and *Gryllus assimilis*) Powders at Different Stages of Development. *Journal of Food Composition and Analysis.* 2023;125:105804. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105804>
21. Kröncke N., Benning R. Influence of Dietary Protein Content on the Nutritional Composition of Mealworm Larvae (*Tenebrio molitor* L.). *Insects.* 2023;14(3):261. <https://doi.org/10.3390/insects14030261>
22. Oliveira L.A., Dias K.A., Pereira S.M.S. et al. Digestibility and Quality of Edible Insect Proteins: a Systematic Review of In Vivo Studies. *Journal of Insects as Food and Feed.* 2023;9(10):1333-1344. <https://doi.org/10.3920/JIFF2022.0172>
23. Bodwell C.E., Satterlee L.D., Hackler L.R. Protein Digestibility of the Same Protein Preparations by Human and Rat Assays and by *In Vitro* Enzymic Digestion Methods. *The American Journal of Clinical Nutrition.* 1980;33(3):677-86. <https://doi.org/10.1093/ajcn/33.3.677>
24. Barre A., Pichereaux C., Simplicien M., Burlet-Schiltz O., Benoist H., Rougé P. A. Proteomic- and Bioinformatic-Based Identification of Specific Allergens from Edible Insects: Probes for Future Detection as Food Ingredients. *Foods.* 2021;10(2):280. <https://doi.org/10.3390/foods10020280>
25. Yi L., Van Boekel M.A.J.S., Boeren S. Protein Identification and In Vitro Digestion of Fractions from *Tenebrio molitor*. *European Food Research and Technology.* 2016;242:1285-1297. <https://doi.org/10.1007/s00217-015-2632-6>
26. Verhoeckx K.C.M., van Broekhoven S., den Hartog-Jager C.F. et al. House Dust Mite (Der p 10) and Crustacean Allergic Patients May React to Food Containing Yellow Mealworm Proteins. *Food and Chemical Toxicology.* 2014;65:364-373. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.12.049>

27. De Gier S., Verhoeckx K. Insect (Food) Allergy and Allergens. *Molecular Immunology*. 2018;100:82-106. <https://doi.org/10.1016/j.molimm.2018.03.015>
28. Montowska M., Kowalczewski P.L., Rybicka I., Fornal E. Nutritional Value, Protein and Peptide Composition of Edible Cricket Powders. *Food Chemistry*. 2019;289:130-138. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.062>
29. Zhao X., Vázquez-Gutiérrez J.L., Johansson D.P., Landberg R., Langton M. Yellow Mealworm Protein for Food Purposes Extraction and Functional Properties. *PloS ONE*. 2016;11(2):e0147791. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0147791>
30. Gravel A., Doyen A. The Use of Edible Insect Proteins in Food: Challenges and Issues Related to Their Functional Properties. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2020;59:102272. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102272>
31. Hall F.G., Jones O.G., O'Haire M.E., Liceaga A.M. Functional Properties of Tropical Banded Cricket (*Gryllobates Sigillatus*) Protein Hydrolysates. *Food Chemistry*. 2017;224:414-422. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.138>
32. Ma Z., Mondor M., Goycoolea Valencia F., Hernández-Álvarez A.J. Current State of Insect Proteins: Extraction Technologies, Bioactive Peptides and Allergenicity of Edible Insect Proteins. *Food & Function*. 2023;14(18):8129-8156. <https://doi.org/10.1039/d3fo02865h>

Информация о статье

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: научно-исследовательская работа по подготовке рукописи проведена на средства Минобрнауки России в рамках государственного задания (тема № FGMP-2025-0005).

Сведения об авторах

Тышко Надежда Валерьевна – д-р мед. наук, заведующая лабораторией оценки безопасности биотехнологий и новых источников пищи ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», <https://orcid.org/0000-0002-8532-5327>

Тимошенко Ксения Андреевна – канд. техн. наук, научный сотрудник лаборатории оценки безопасности биотехнологий и новых источников пищи ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», <https://orcid.org/0009-0009-5344-2703>

Садыкова Эльвира Олеговна – канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории оценки безопасности биотехнологий и новых источников пищи ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», <https://orcid.org/0000-0001-5446-5653>

Шестакова Светлана Игоревна – научный сотрудник лаборатории оценки безопасности биотехнологий и новых источников пищи ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», <https://orcid.org/0000-0003-0279-4134>

Article info

Conflict of interest: the authors declare that there is no conflict of interest.

Funding: the research was funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under the state assignment (topic No. FGMP-2025-0005).

About authors

Nadezhda V. Tyshko – Dr. Sci. in Medicine, Head of the Laboratory for Safety Assessment of Biotechnology and New Food Sources, Federal Research Center for Nutrition and Biotechnology, <https://orcid.org/0000-0002-8532-5327>

Kseniya A. Timoshenko – Cand. Sci. in Engineering, Researcher at the Laboratory for Safety Assessment of Biotechnology and New Food Sources, Federal Research Center for Nutrition and Biotechnology, <https://orcid.org/0009-0009-5344-2703>

Elvira O. Sadykova – Cand. Sci. in Biological Sciences, Leading Researcher at the Laboratory for Safety Assessment of Biotechnology and New Food Sources, Federal Research Center for Nutrition and Biotechnology, <https://orcid.org/0000-0001-5446-5653>

Svetlana I. Shestakova – Researcher at the Laboratory for Safety Assessment of Biotechnologies and New Food Sources, Federal Research Center for Nutrition and Biotechnology, <https://orcid.org/0000-0003-0279-4134>

Никитин Николай Сергеевич – младший научный сотрудник лаборатории оценки безопасности биотехнологий и новых источников пищи ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», <https://orcid.org/0000-0001-5091-0991>

Требух Марина Дмитриевна – младший научный сотрудник лаборатории оценки безопасности биотехнологий и новых источников пищи ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», <https://orcid.org/0000-0002-4077-1593>

Станкевич Ангелина Андреевна – инженер-исследователь 2-й категории, аспирант лаборатории оценки безопасности биотехнологий и новых источников пищи ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», <https://orcid.org/0000-0003-1797-6512>

Пашорина Валентина Алексеевна – инженер-исследователь 2-й категории лаборатории оценки безопасности биотехнологий и новых источников пищи ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», <https://orcid.org/0000-0001-6909-3514>

Nikolay S. Nikitin – Junior Researcher at the Laboratory for Safety Assessment of Biotechnologies and New Food Sources, Federal Research Center for Nutrition and Biotechnology, <https://orcid.org/0000-0001-5091-0991>

Marina D. Trebukh – Junior Researcher, Laboratory for Safety Assessment of Biotechnologies and New Food Sources, Federal Research Center for Nutrition and Biotechnology, <https://orcid.org/0000-0002-4077-1593>

Angelina A. Stankevich – Research Engineer of the 2nd Category, Postgraduate Student, Laboratory for Safety Assessment of Biotechnology and New Food Sources, Federal Research Center for Nutrition and Biotechnology, <https://orcid.org/0000-0003-1797-6512>

Valentina A. Pashorina – Research Engineer of the 2nd Category, Laboratory for Safety Assessment of Biotechnology and New Food Sources of the Federal Research Center for Nutrition and Biotechnology, <https://orcid.org/0000-0001-6909-3514>

Вклад авторов

Н.В. Тышко, К.А. Тимошенко – концепция и дизайн исследования, К.А. Тимошенко – разработка технологии; В.А. Пашорина, К.А. Тимошенко, Э.О. Садыкова, С.И. Шестакова – проведение экспериментального исследования; Э.О. Садыкова, С.И. Шестакова, Н.С. Никитин, М.Д. Требух, А.А. Станкевич – сбор и обработка материала. Все авторы – написание текста, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Для корреспонденции

Тышко Надежда Валерьевна
tnv@ion.ru

Статья поступила 03.04.2025
Принята к печати 07.08.2025
Опубликована 18.09.2025

Authors' contributions

N.V. Tyshko, K.A. Timoshenko – concept and design of the study, K.A. Timoshenko – technology development; V.A. Pashorina, K.A. Timoshenko, E.O. Sadykova, S.I. Shestakova – experimental research; E.O. Sadykova, S.I. Shestakova, N.S. Nikitin, M.D. Trebukh, A.A. Stankevich – data collection and processing. All authors are responsible for writing, editing, and approving the final version of the article, as well as for the integrity of all parts of the article.

Corresponding author

Nadezhda V. Tyshko
tnv@ion.ru

Received 03.04.2025
Accepted for publication 07.08.2025
Published 18.09.2025