

Научная статья
УДК 641.563
<https://doi.org/10.24143/2073-5529-2025-4-110-117>
EDN SIFMFW

Обзор методов извлечения липидной фракции в способах получения пищевого белкового концентрата из рыбного сырья

С. М. Арабов¹, О. И. Коннова^{2✉}, А. И. Алексанян³, З. М. Арабова⁴, Во Чунг Куанг⁵

¹Астраханский государственный архитектурно-строительный университет,
Астрахань, Россия

^{2, 3}Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия, Okonnova88@gmail.com✉

⁴Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского,
Москва, Россия

⁵Каспийский институт морского и речного транспорта имени генерал-адмирала Ф. М. Апраксина –
филиал ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта»,
Астрахань, Россия

Аннотация. Рыбные белки обладают уникальными функциональными свойствами, которые позволяют им стать отличным средством для удержания воды, образования прочного геля, стабильной пены, связывания липидов и образования стабильных липидных эмульсий. Однако из-за сильного неприятного рыбного запаха этот богатый источник белка, как правило, вызывает неожиданное неприятие у некоторых групп людей. В качестве рыбного белкового продукта можно назвать рыбный гидролизат, в котором концентрация белка выше, чем в рыбном сырье, и он также предназначен для употребления в пищу человеком. Основным преимуществом производства рыбных белковых концентратов (РБК) является низкая потеря белка по сравнению с другими методами переработки рыбы. Кроме того, РБК обладают высокой питательной ценностью, длительным сроком хранения и не требуют охлаждения при транспортировке. Белковый концентрат может быть изготовлен из любого вида рыбы или рыбных остатков, на практике его обычно получают из рыбы путем отделения жира, удаления костей и сушки, в результате чего конечный продукт может иметь более высокое содержание белка (от 85 до 95 %) и меньшее содержание золы и воды, чем, например, рыбная мука. Рассмотрены существующие способы выработки высококачественных РБК. Производство РБК может стать одним из многообещающих способов повышения востребованности рыбных продуктов у населения.

Ключевые слова: рыбные белковые концентраты, способы получения, липидная фракция, извлечение, сушка, обезжиривание

Для цитирования: Арабов С. М., Коннова О. И., Алексанян А. И., Арабова З. М., Во Чунг Куанг. Обзор методов извлечения липидной фракции в способах получения пищевого белкового концентрата из рыбного сырья // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2025. № 4. С. 110–117. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2025-4-110-117>. EDN SIFMFW.

Original article

Review of lipid fraction extraction methods in ways for obtaining food protein concentrate from fish oil

S. M. Arabov¹, O. I. Konnova^{2✉}, A. I. Aleksanyan³, Z. M. Arabova⁴, Vo Trung Quang⁵

¹Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering,
Astrakhan, Russia

^{2, 3}Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia, Okonnova88@gmail.com✉

⁴Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the Russia Academy of Sciences,
Moscow, Russia

⁵Caspian Institute of Sea and River Transport named after Admiral F. M. Apraksin, branch of the Volga State University of
Water Transport, Astrakhan, Russia

Abstract. Fish proteins have unique functional properties that allow them to become an excellent tool for water retention, the formation of a durable gel, stable foam, lipid binding and the formation of stable lipid emulsions. However, due to the

strong unpleasant fishy smell, this protein-rich source usually causes unexpected rejection in some groups of people. A similar protein product can be called fish hydrolysate, in which the protein concentration is higher than in fish raw materials, and it is also intended for human consumption. The main advantage of the production of fish protein concentrates (FPCs) is the low protein loss compared to other fish processing methods. In addition, FPC has a high nutritional value, a long shelf life and does not require cooling during transportation. Protein concentrate can be produced from any type of fish or fish residues, in practice it is usually obtained from fish by separating fat, removing bones and drying, as a result of which the final product may contain a higher protein content (from 85 to 95%) and a lower content of ash and water, than, for example, in fishmeal. The existing methods of producing high-quality FPCs are considered. The production of FPC can become one of the promising ways to increase people's attitudes towards the use of fish products.

Keywords: fish protein concentrates, production methods, lipid fraction, extraction, drying, degreasing

For citation: Arabov S. M., Konnova O. I., Aleksanyan A. I., Arabova Z. M., Vo Trung Quang. Review of lipid fraction extraction methods in ways for obtaining food protein concentrate from fish oil. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing industry. 2025;4:110-117.* (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2025-4-110-117>. EDN SIFMFV.

Введение

Известно, что для выработки высококачественных рыбных белковых концентратов (РБК) существует ряд разработанных методов приготовления, включая физические, химические и биологические [1–3]. В основном цель этой технологии – превращение рыбы из скоропортящегося сырья в менее скоропортящийся продукт. Использование физических приемов, таких как повышение температуры, перемешивание, обработка ультразвуком, фильтрация, прессование, сушка и т. д., а также их сочетание и использование соответствующих растворителей и/или ферментов повышают эффективность применяемых в технологии процессов.

Биологические методы включают ферментацию рыбных твердых и псевдожидких материалов с использованием специальных микроорганизмов, морских дрожжей или ферментов с добавлением соли для расщепления на белки и белковые составляющие мелко измельченной рыбы. Так как большая часть костей и чешуи не поддается перевариванию, для отделения от них богатого белком мяса рыбы и рыбьего жира требуется центрифугирование. Однако эти методы являются дорогостоящими, а продукты могут содержать слишком большое количество соли, что делает их непригодными для определенных категорий потребителей [4].

Химические методы в основном применяются с использованием кислого ($\text{pH} \leq 3,5$) или щелочного ($\text{pH} \geq 10,5$) водного раствора для солиubilизации белков из рыбных тканей при температуре окружающей среды около 20 °C. При низких или высоких значениях pH суммарный заряд белка вызывает отталкивание белковых цепей и способствует их растворению. Богатый белком водный раствор отделяется от твердых частиц (нерастворимых белков, кожи, костей и чешуи) и нейтральных липидов центрифугированием. Затем растворимые белки извлекают изoeлектрическим осаждением, регулируя pH примерно до 5,0–5,5, и осажденные белки полностью удаляют центрифугированием [5–8]. Но применение низких значений pH нередко оказывает негативное воздействие на белки, приводя к их денатурации и утрате функциональных свойств. Кроме того, при высоком pH более вероятно окисление, которое может привести

к потемнению и появлению неприятных привкусов, особенно в присутствии большого количества полифенолов [8].

Хотя способов приготовления РБК существует множество, наиболее популярными являются те, в которых используются органические растворители или их смеси для удаления липидов и воды из сырого или вареного мяса рыбы. Удаление липидов может осуществляться пятью последовательными этапами, которые включают приготовление рыбы, декантацию, прессование, центрифугирование и сушку [5, 9]. Анализ опубликованной научной литературы выявил ряд коммерчески реализованных технологических подходов к получению сухих или концентрированных белковых концентратов (РБК). Целью данной статьи является всесторонний обзор информации о РБК, способах его производства, в частности методах извлечения и видах растворителей липидной фракции, сушки и обезжиривания сухого продукта.

Объектом исследования является процесс производства РБК. В рамках этого процесса изучены различные методы и технологии, направленные на извлечение липидов из рыбного сырья с целью получения высокобелкового продукта. Полученные результаты позволяют оценить эффективность различных методов производства РБК и выбрать оптимальную технологию в зависимости от конкретных условий.

Результаты и обсуждение

С технологической и экономической точки зрения производство РБК очень эффективно, поскольку потери белка при нем значительно ниже (менее 4 %) по сравнению с другими методами переработки рыбы (замораживание, филетирование, консервирование), потери в которых могут достигать 40–60 % [1, 3, 5]. Высокая питательная ценность, низкая калорийность, длительный срок хранения, хорошая стабильность при длительном хранении и отсутствие необходимости в охлаждении при транспортировке, несомненно, являются преимуществами развития технологических приоритетов при расширении линейки производства белковых продуктов, таких как РБК [1, 5]. Для производства сухих или концентрированных РБК были коммер-

чески внедрены несколько технологических приемов, описание которых представлено ниже.

В технологии, применяемой в Англии и описанной в работе А. R. Akhade и др. [10], приготовленную рыбную мякоть измельчают с равным по массе количеством ацетона в течение 45 мин. Затем кашицу фильтруют для отделения растворителя, а твердый материал прессуют и сушат под вакуумом. Затем его смешивают с равным по массе 90 %-м этиловым спиртом, настаивают с обратным

кипячением в течение 45 мин и охлаждают. Полученную суспензию фильтруют, а твердый материал прессуют и сушат под вакуумом. Висушенную массу снова обрабатывают спиртом, фильтруют, нагревают под вакуумом для полного удаления остатков растворителя, измельчают и хранят при температуре окружающей среды (25 ± 2 °C). На рис. 1, а представлена британская технологическая схема этого способа выработки РБК.

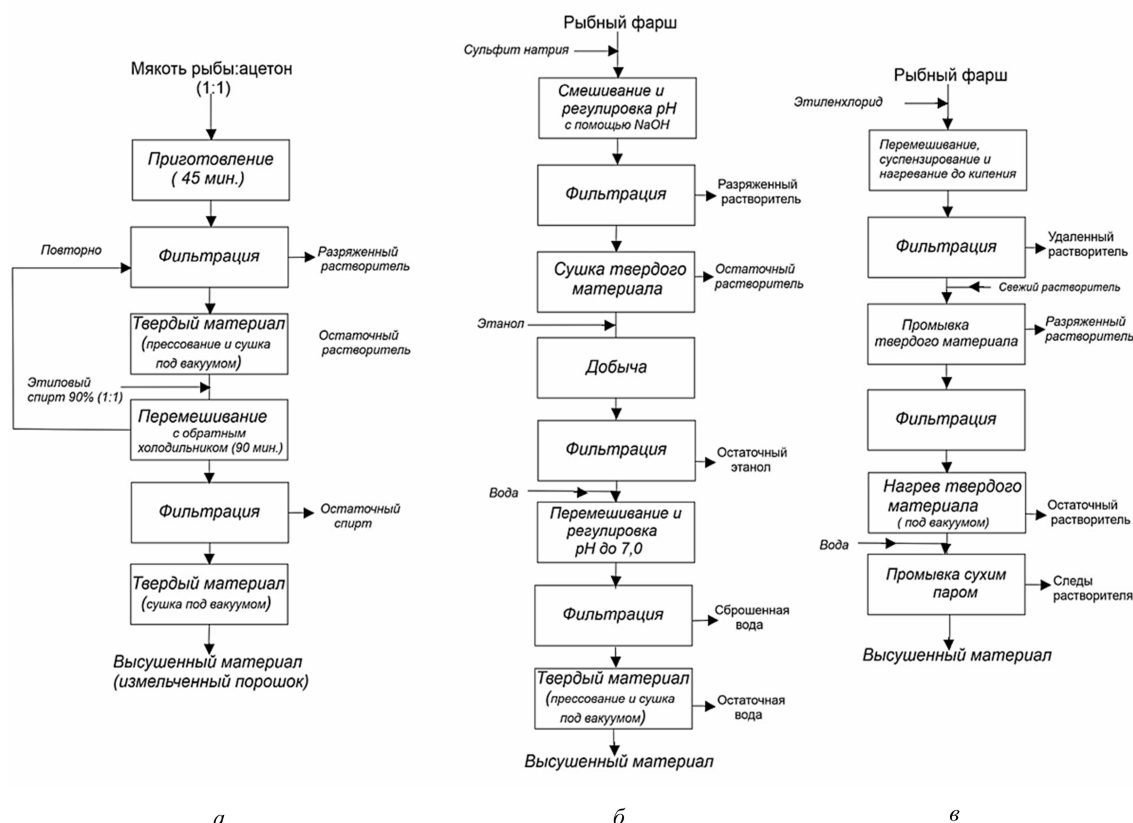


Рис. 1. Технологические схемы производства белковых продуктов РБК:
а – британская; б – Lever-brother; в – Viobin

Fig. 1. Technological schemes for the production of FPC protein products:
a – British; б – Lever-brother; в – Viobin

В технологии Lever-brother, также описанной в работе А. R. Akhade и др. [10], измельченную мякоть рыбы смешивают с 1 % по массе сульфита натрия и определенным объемом раствора каустической соды для повышения pH до 10,0. Затем смесь высушивают и дополнительно экстрагируют 95 %-м этанолом, содержащим небольшое количество серной кислоты. После удаления растворителя фильтрацией остаток суспендируют в воде с pH, доведенным до 7, при интенсивном перемешивании. Затем суспензию фильтруют, чтобы отделить твердый материал от жидкого, и прессуют, сушат твердое вещество при температуре 50 °C и хранят при температуре окружающей среды (25 ± 2 °C). На рис. 1, б показана технологическая схема приготовления РБК с использованием технологии

Lever-brother.

Авторы [11] разработали технологию переработки рыбных отходов, которая позволяет получать белковый концентрат высокой степени очистки путем последовательного проведения операций измельчения, экстракции в щелочной среде, изoeлектрического осаждения и сушки. Предложенная технология позволяет не только эффективно извлекать белок из различных видов рыбного сырья, включая отходы, но и получать высококачественный белковый концентрат с улучшенными функциональными свойствами, который может быть использован в качестве альтернативы растительным белкам.

В работе [12] авторы раскрывают результаты серии экспериментов по термообработке рыбного сырья с вариацией температуры в диапазоне от 80 до

112 °C и времени обработки от 20 до 80 мин при атмосферном или повышенном давлении ($0,2 \pm 0,02$ МПа). Полученный рыбный белковый концентрат обладает следующими характеристиками: содержание белка составляет 56,2 %, жира – 8,9 %, влаги – 2 %, золы – 22 %. Примечательно, что минеральный состав концентрата представлен преимущественно кальцием (5,4 %), магнием (3 %) и фосфором (5,8 %).

В технологии Viobin, описанной в работе А. С. Куморо и др. [1], одновременное обезвоживание и удаление липидов из рыбного фарша осуществляется с использованием этиленхлорида (при температуре 84 °C). Рыбный фарш суспендируют в этиленхлориде для обработки, а затем массу нагревают паром снаружи до кипения. Этиленхлорид и вода образуют азеотропную смесь при кипении при температуре 70,5 °C. При сгущении азеотропная смесь разделяется на два слоя. Слой растворителя закачивается обратно в емкость для удаления большего количества воды. Когда содержание воды приближается к нулю, температура варки приближается к температуре растворителя, что указывает на завершение процесса. После удаления воды остатки растворителя, богатого липидами, и обезвоженное мясо отделяются с помощью фильтрации. Липиды удаляются в емкости с остаточным растворителем. Раствор отфильтровывают, а остатки дважды или более раз промывают свежим растворителем, чтобы удалить весь прилипший жир, а затем нагревают в емкости с паровой рубашкой под вакуумом, что-

бы удалить как можно больше растворителя. Наконец, емкость промывается сухим паром для удаления последних следов растворителя. Затем сухой продукт измельчают, упаковывают в пакеты и хранят при температуре окружающей среды (25 ± 2 °C). На рис. 1, в приведена технологическая схема приготовления РБК по технологии Viobin.

В канадской технологии, описанной в работе А. С. Куморо и др., а также А. Р. Акхад и др. [1, 10], используется изопропанол в качестве растворителя для экстракции липидов, состоящей из двух последовательных стадий. Первая стадия включает измельчение рыбы, ее суспензию в воде, подкисленной фосфорной кислотой (pH 5,5), и варку в течение 30 мин при температуре 70–80 °C при постоянном помешивании, с последующей фильтрацией приготовленной массы и повторной промывкой горячей водой до исчезновения запаха. Затем остаток от первой стадии повторно суспендируют в двойном объеме изопропанола и кипятят с обратным холодильником в течение 15 мин. Растворитель отделяется фильтрацией или центрифугированием, а остаток дополнительно обрабатывается растворителем для снижения содержания липидов и воды до желаемого уровня. Остаток после окончательной обработки прессуется, а жмых высушивается под вакуумом и измельчается в порошок. Остаточный растворитель удаляют под вакуумом. На рис. 2, а представлена технологическая схема получения РБК с использованием канадского способа.

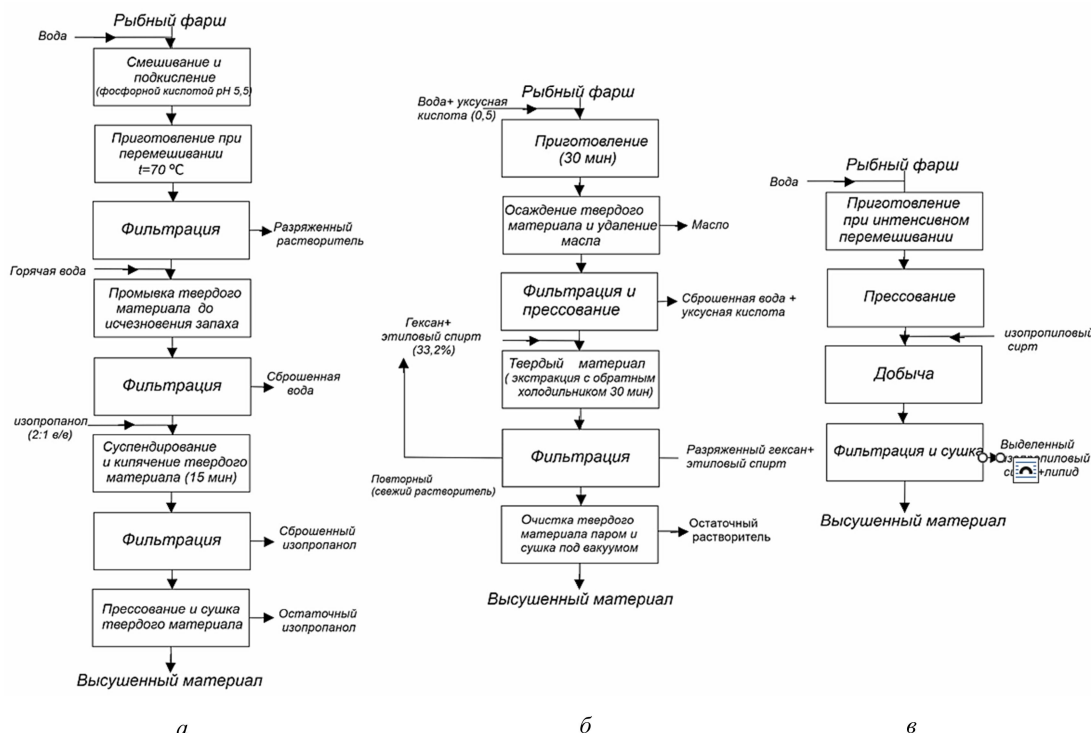


Рис. 2. Технологические схемы производства белковых продуктов РБК:
 а – канадская; б – индийская; в – чилийская

Fig. 2. Technological schemes for the production of FPC protein products:
 а – Canadian; б – Indian; в – Chilean

Авторы работы [13] в качестве сырья для производства рыбного белкового концентрата использовали отходы переработки лососевых рыб – костные хребты с остатками мяса. При этом такие ценные части туши, как плавники и головы, были исключены из технологического процесса. Сырье размораживают, моют, измельчают, подвергают тепловой обработке путем варки в течение 30 мин при температуре 80 °С в водном растворе с соотношением «сырье : вода» 1 : 2. Такой режим позволяет инактивировать ферменты и облегчить последующее отделение мясной ткани от костей. После варки продукт охлаждают до 20–23 °С и отделяют твердую фракцию центрифугированием или фильтрованием. Обработку органическими растворителями для удаления жира не производят, т. к. содержание липидов в начальном сырье среднее (ниже 10 %). Перед сушкой производят замораживание сырья при температуре –20 °С. Сушат сырье с использованием лиофильной сушки в течение 5 ч при температуре 15–20 °С и давлении 0,015–0,02 мбар. Высушенный материал измельчают на фарш-машине, замораживают при температуре –20 °С и направляют на досушивание при предыдущем режиме. Полученный после сушки продукт измельчают на молотковой мельнице до фракции 0,25–0,4 мм. Для повышения пищевой ценности в полученный порошок вносят витаминно-минеральный премикс, содержащий витамины D₂ и E в строго определенных количествах. После тщательного перемешивания в смесительном оборудовании готовый продукт фасуют в герметичную упаковку и направляют на хранение в холодильных камерах при температуре –6 °С.

В Индии применяется метод азеотропной экстракции [1, 8], при котором в качестве растворителя используется азеотропная смесь гексана и этилового спирта (см. рис. 2, б). Рыбный фарш целиком варят в кипящей воде, содержащей 0,5 % уксусной кислоты, в течение 30 мин, дают отстояться и удаляют масло, которое плавает на поверхности. Твердое вещество хорошо отжимают до получения жмыха после слива жидкости путем фильтрования суспензии через холщовые мешки и настаивают с обратным холодильником при постоянном перемешивании в течении 30 мин с азеотропной смесью. Смесью гексана и этилового спирта, содержащая 33,2 мольных долей (%) спирта (при температуре окружающей среды 58–60 °С), удаляет из продукта как запах, так и влагу. Твердое вещество снова перемешивают с помощью кипятка, добавляя свежую смесь растворителей. Суспензию фильтруют для удаления растворителя, прессуют с получением прессованного осадка, который сушат под вакуумом. После отгонки оставшегося растворителя экстрагированную массу обрабатывают паром, чтобы удалить остатки растворителя, и сушат при пониженном давлении (вакууме). Затем массу измельча-

ют до мелкого размера ячеек, упаковывают и хранят при температуре окружающей среды (25 ± 2 °С).

Авторы [14] предлагают подход к получению рыбного белкового концентрата, основанный на низкотемпературной экстракции. Такой подход позволяет избежать проблем, связанных с денатурацией белка при высоких температурах, и получить продукт с улучшенными функциональными свойствами.

В Чили применяют технологию, описанную в работе Р. Nevia и др. [15]: мякоть целой рыбы промывают, нарезают на более мелкие кусочки и смешивают с 2-бутанолом в соотношении 1 : 3 «рыбный фарш : 2-бутанол» (по массе) при постоянном перемешивании в течение 30 мин при комнатной температуре с последующей такой же обработкой при температуре от 89 до 91 °С в течение 4 ч. Обработанную затем рыбу подвергают вакуумной фильтрации для отделения растворителя. Рыбный жмых дважды промывают спиртом и снова фильтруют, чтобы обеспечить полное удаление липидов. Полученный РБК обезжиривают при температуре 60–65 °С под вакуумным давлением до получения влажности 3–4 %. На рис. 2, в показана технологическая схема приготовления РБК с использованием чилийской технологии.

Из обзора представленных способов выработки РБК можно заключить, что основную сложность при переработке рыбного сырья представляет процесс удаления из него липидов. Общеизвестно, что липиды нерастворимы в воде и обычно извлекаются из тканей, клеток или жидкостей с использованием специальных органических растворителей, поскольку метод экстракции растворителем является экономичным и простым в применении. Однако на эффективность экстракции липидов из любых природных источников сильно влияют две переменные: коэффициент распределения существующих липидов по органической фазе и липидный состав образца. Простые липиды в основном являются основной частью крупных агрегатов в тканях-накопителях, т. е. жировых телах или жировой ткани, из которых они могут быть легко извлечены. Напротив, сложные липиды, как правило, являются компонентами мембран, где они существуют в интенсивной ассоциации и взаимодействии с другими соединениями, такими как белки и полисахариды, что затрудняет их извлечение.

В любых практических методах эффективного извлечения липидов из тканей рыб необходимо учитывать несколько важных аспектов: растворители должны легко экстрагировать липиды и разрушать любые взаимодействия между липидами и тканевыми матрицами, удаляя совместно экстрагированные нежировые компоненты из экстрактов, и условия хранения. Поэтому крайне важно одновременно регулировать как полярные, так и неполярные взаимодействия в системе экстракции.

Очевидно, что подходящим растворителем, используемым для выработки РБК, должна быть смесь растворителей, состоящая из полярных и неполярных растворителей. Однако растворитель, используемый для приготовления РБК, также должен быть летучим, чтобы его можно было легко удалить, например путем испарения или сушки при пониженном давлении. В дополнение к возможной денатурации белка химическая реакция, безопасность и токсичность растворителя являются другими важными факторами, которые необходимо учитывать при выборе растворителя, используемого при приготовлении РБК. Кроме того, для простоты и снижения эксплуатационных расходов процесс экстракции, как правило, проводят при атмосферном давлении. Общеизвестно, что эффективность процесса сушки в первую очередь зависит от летучести растворителя, используемого для процесса экстракции, однако для эффективного и полного удаления растворителя при температуре 50 °C или ниже, чтобы предотвратить термическую денатурацию бел-

ка, влагоудаление следует проводить под вакуумом или при пониженном давлении.

Заключение

Таким образом, следует отметить, что подходящим растворителем, используемым для выработки РБК, должна быть смесь, состоящая из полярных и неполярных растворителей. При этом растворитель, используемый для приготовления РБК, должен быть летучим, чтобы его можно было легко удалить, например путем испарения или сушки при пониженном давлении. Денатурации белка, химическая реакция, безопасность и токсичность растворителя являются важными факторами, которые необходимо учитывать при выборе растворителя, используемого при приготовлении РБК. Для эффективного и полного удаления растворителя при температуре 50 °C или ниже, чтобы предотвратить термическую денатурацию белка, влагоудаление следует проводить при пониженном давлении.

Список источников

1. Kumoro A. C., Wardhani D. H., Kusworo T. D., Djaeni M., Ping T. Ch., Fajar Azis Y. M. Fish protein concentrate for human consumption: A review of its preparation by solvent extraction methods and potential for food applications // *Annals of Agricultural Sciences*. 2022. V. 67. N. 1. P. 42–59.
2. Иванова Л. А., Устинова Ю. В., Марусина Д. Н. Получение кормовых белковых концентратов как способ рациональной утилизации вторичного рыбного сырья // *Пищевая промышленность*. 2011. № 12. С. 26–28.
3. Мезенова О. Я. Перспективы получения и использования протеинов из вторичного рыбного сырья // *Вестн. Междунар. акад. холода*. 2018. № 1. С. 5–10. DOI: 10.17586/1606-4313-2018-17-1-5-10.
4. Никифорова А. П. Перспективы производства ферментированных рыбных продуктов с использованием молочнокислых бактерий // *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания*. 2020. № 2. С. 17–24. DOI: 10.24411/2311-6447-2020-10038.
5. Пат. РФ № 2676312 C1, МПК A23L 33/10, A23L 17/30. Способ получения белково-витаминной добавки из икорного джуса / Дворянинова О. П., Соколов А. В., Алехина А. В., Евстратова А. С.; № 2017143574; заявл. 13.12.2017; опубл. 27.12.2018.
6. Пат. РФ № 2410894 C1, МПК A23J 1/04. Способ получения белкового продукта из рыбного сырья / Цибилова М. Е., Язенкова Д. С., Аверьянова Н. Д.; № 2009120893/13; заявл. 01.06.2009; опубл. 10.02.2011.
7. Мотов В. В., Кот Э. Ф., Шабалкина А. В., Гончарук С. А., Арсеньев А. С., Минеев К. С. Солубилизация альфа-спиральных мембранных белков в смесях трифторэтанола и воды и их рефолдинг в липидных бицеллах // *Перспективные направления физико-химической биологии и биотехнологии: сб. тез. XXXIV Междунар. зим. молодеж. науч. шк. (Москва, 08–11 февраля 2022 г.)*. М.: Изд-во Ин-та биоорг. химии им. акад. М. М. Шемякина и Ю. А. Овчинникова РАН, 2022. С. 64.
8. Batista I., Pires C., Nelhas R. Extraction of sardine proteins by acidic and alkaline solubilisation // *Food Science and Technology International*. 2007. V. 13. N. 3. P. 189–194.
9. Barzana E., Garía-Garibay M. Production of fish protein concentrates // *Fisheries Processing: biotechnological applications*. Boston, MA: Springer US, 1994. P. 206–222.
10. Akhade A. R., Koli J. M., Sadawarte R. K., Akhade R. R. Functional properties of fish protein concentrate extracted from ribbon fish, *Lepturacanthus savala* by different methods // *International journal of processing and post harvest technology*. 2016. V. 7 (2). P. 274–283. DOI: 10.15740/HAS/IJPPHT/7.2/274-283.
11. Пат. РФ № 2481772 C2, МПК A23J 1/04, A23L 1/325. Способ получения белкового концентрата из рыбных отходов / Иванова Л. А., Устинова Ю. В.; № 2011135454/10; заявл. 25.08.2011; опубл. 20.05.2013.
12. Белая О. В., Палагина М. В., Набокова А. А., Приходько Ю. В. Математическое моделирование в производстве рыбного белкового концентрата // *Рыбпром: технологии и оборудование для переработки водных биоресурсов*. 2007. № 1. С. 19–20.
13. Волошина О. В., Палагина М. В., Набокова А. А., Черкасова С. А., Ростовская М. Ф., Приходько Ю. В. Технологические аспекты создания нового пищевого продукта для профилактики и лечения остеопороза // *Вестн. Дальневосточ. гос. акад. экономики и управления*. 2004. № 4 (32). С. 104–109.
14. А. с. № 564853 A1 СССР, МПК A23L 1/325. Способ получения рыбного белкового концентрата / Ярочкин А. П., Эртель Л. Я., Бояркина Л. Г.; № 2339336; заявл. 25.03.1976; опубл. 15.07.1977.
15. Hevia P., Whitaker J. R., Olcott H. S. Solubilization of a fish protein concentrate with proteolytic enzymes // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1976. V. 24. N. 2. P. 383–385.

References

1. Kumoro A. C., Wardhani D. H., Kusworo T. D., Djaeni M., Ping T. Ch., Fajar Azis Y. M. Fish protein concentrate for human consumption: A review of its preparation by solvent extraction methods and potential for food applications. *Annals of Agricultural Sciences*, 2022, vol. 67, no. 1, pp. 42-59.
2. Ivanova L. A., Ustinova Yu. V., Marusina D. N. Polucheniye kormovykh belkovykh kontsentratsiy kak sposob ratsionalnoy utilizatsii vtorichnogo rybnogo syria [Obtaining feed protein concentrates as a way of rational utilization of secondary fish raw materials]. *Pishchevaya promyshlennost*, 2011, no. 12, pp. 26-28.
3. Mezenova O. Ya. Perspektivy polucheniya i ispolzovaniya proteinov iz vtorichnogo rybnogo syria [Prospects for obtaining and using proteins from recycled fish raw materials]. *Vestnik Mezhdunarodnoy akademii kholoda*, 2018, no. 1, pp. 5-10. DOI: 10.17586/1606-4313-2018-17-1-5-10.
4. Nikiforova A. P. Perspektivy proizvodstva fermentirovannykh rybnokh produktov s ispolzovaniyem molochnokisllykh bakteriy [Prospects for the production of fermented fish products using lactic acid bacteria]. *Tekhnologii pishchevoy i pererabatyvayushchey promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya*, 2020, no. 2, pp. 17-24. DOI: 10.24411/2311-6447-2020-10038.
5. Dvoryaninova O. P., Sokolov A. V., Alekhina A. V., Evstratova A. S. *Sposob polucheniya belkovo-vitaminnoy dobavki iz ikornogo dzhusa* [The method of obtaining a protein and vitamin supplement from caviar juice]. Patent RF № 2676312 C1; 27.12.2018.
6. Tsibizova M. E., Yazenkova D. S., Averianova N. D. *Sposob polucheniya belkovogo produkta iz rybnogo syria* [The method of obtaining a protein product from fish raw materials]. Patent RF № 2410894 C1; 10.02.2011.
7. Motov V. V., Kot E. F., Shabalkina A. V., Goncharuk S. A., Arsenyev A. S., Mineyev K. S. Solubilizatsiya alfa-spiralnykh membrannykh belkov v smesyakh trifluoretanola i vody i ikh refolding v lipidnykh bitsellakh [Solubilization of alpha-helical membrane proteins in mixtures of tri-fluoroethanol and water and their refolding in lipid bicells]. *Perspektivnyye napravleniya fiziko-khimicheskoy biologii i biotekhnologii: sbornik tezisev XXXIV Mezhdunarodnoy zimney molodezhnoy nauchnoy shkoly (Moskva. 08–11 fevralya 2022 g.)*. Moscow, Izd-vo In-ta bioorgan. khimii im. akad. M. M. Shemyakina i Yu. A. Ovchinnikova RAN, 2022. P. 64.
8. Batista I., Pires C., Nelhas R. Extraction of sardine proteins by acidic and alkaline solubilisation. *Food Science and Technology International*, 2007, vol. 13, no. 3, pp. 189-194.
9. Barzana E., Garia-Garibay M. Production of fish protein concentrates. *Fisheries Processing: biotechnological applications*. Boston, MA, Springer US, 1994. Pp. 206-222.
10. Akhade A. R., Koli J. M., Sadawarte R. K., Akhade R. R. Functional properties of fish protein concentrate extracted from ribbon fish. *Lepturacanthus savala by different methods*. *International journal of processing and post harvest technology*, 2016, vol. 7 (2), pp. 274-283. DOI: 10.15740/HAS/IJPPHT/7.2/274-283.
11. Ivanova L. A., Ustinova Yu. V. *Sposob polucheniya belkovogo kontsentrata iz rybnokh otkhodov* [Method of obtaining protein concentrate from fish waste]. Patent RF № 2481772 C2; 20.05.2013.
12. Belaya O. V., Palagina M. V., Nabokova A. A., Prihodko Yu. V. Matematicheskoye modelirovaniye v proizvodstve rybnogo belkovogo kontsentrata [Mathematical modeling in the production of fish protein concentrate]. *Ryb-prom: tekhnologii i oborudovaniye dlya pererabotki vodnykh bioresursov*, 2007, no. 1, pp. 19-20.
13. Voloshina O. V., Palagina M. V., Nabokova A. A., Cherkasova S. A., Rostovskaya M. F., Prihodko Yu. V. Tekhnologicheskiye aspekty sozdaniya novogo pishchevogo produkta dlya profilaktiki i lecheniya osteoporoza [Technological aspects of creating a new food product for the prevention and treatment of osteoporosis]. *Vestnik Dalnevostochnoy gosudarstvennoy akademii ekonomiki i upravleniya*, 2004, no. 4 (32), pp. 104-109.
14. Yarochkin A. P., Ertel L. Ya., Boyarkina L. G. *Sposob polucheniya rybnogo belkovogo kontsentrata* [Method of obtaining fish protein concentrate]. Avtorskoye svдетельstvo № 564853 A1 SSSR; 15.07.1977.
15. Hevia P., Whitaker J. R., Olcott H. S. Solubilization of a fish protein concentrate with proteolytic enzymes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1976, vol. 24, no. 2, pp. 383-385.

Статья поступила в редакцию 17.02.2025; одобрена после рецензирования 05.05.2025; принята к публикации 21.11.2025
The article was submitted 17.02.2025; approved after reviewing 05.05.2025; accepted for publication 21.11.2025

Информация об авторах / Information about the authors

Семид Михайлович Арабов – аспирант кафедры инженерных систем и экологии; Астраханский государственный архитектурно-строительный университет; ms.arabov@mail.ru

Ольга Ивановна Коннова – ассистент кафедры технологии товаров и товароведения; Астраханский государственный технический университет; Okonnova88@gmail.com

Semid M. Arabov – Postgraduate Student of the Department of Engineering Systems and Ecology; Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering; ms.arabov@mail.ru

Olga I. Konnova – Lecturer of the Department of Technology of Goods and Commodity; Astrakhan State Technical University; Okonnova88@gmail.com

Артур Игоревич Алексанян – аспирант кафедры технологических машин и оборудования; Астраханский государственный технический университет; ar4i221235@mail.ru

Зарема Михайловна Арабова – кандидат технических наук; научный сотрудник лаборатории инструментальных методов и органических реагентов; Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского Российской академии наук; zarema.polymer@gmail.com

Во Чунг Куанг – кандидат технических наук; доцент кафедры судомеханических дисциплин; Каспийский институт морского и речного транспорта имени генерал-адмирала Ф. М. Апраксина – филиал ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта»; votrungquang@gmail.com

Artur I. Aleksanyan – Postgraduate Student of the Department of Technological Machines and Equipment; Astrakhan State Technical University; ar4i221235@mail.ru

Zarema M. Arabova – Candidate of Technical Sciences; Researcher of the Laboratory of Instrumental Methods and Organic Reagents; Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the Russia Academy of Sciences; zarema.polymer@gmail.com

Vo Trung Quang – Candidate of Technical Sciences; Assistant Professor of the Department of Marine Engineering; Caspian Institute of Sea and River Transport named after Admiral F. M. Apraksin, branch of the Volga State University of Water Transport votrungquang@gmail.com

