

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2026-3-2659>
<https://elibrary.ru/MDKVCX>

Обзорная статья
<https://fptt.ru>

Жир из рыбного сырья в технологии колбасных изделий: перспективы и проблемы использования



А. Ю. Глухарев*^{ID}, В. И. Волченко^{ID},
В. А. Гроховский^{ID}, Д. С. Колотова^{ID}

Мурманский арктический университет^{ROR}, Мурманск, Россия

Поступила в редакцию: 10.05.2026
Принята после рецензирования: 28.08.2026
Принята к публикации: 01.09.2026

*e-mail: glukharevayu@yandex.ru
© А. Ю. Глухарев, В. И. Волченко, В. А. Гроховский,
Д. С. Колотова, 2026



Аннотация.

Рыбный жир – уникальный источник ценных биологически активных соединений: полиненасыщенных жирных кислот группы омега-3 и жирорастворимых витаминов, необходимых для нормального функционирования организма человека. Его применение в технологии колбасных изделий взамен жиров наземных животных и птиц позволяет повысить пищевую и биологическую ценность жировой фракции продукта, а также расширить ассортимент функциональных и обогащенных продуктов питания. Цель исследования – проанализировать и систематизировать научные данные о существующих методах улучшения жирнокислотного состава колбасных изделий за счет использования рыбного жира и рыбного жирового сырья, а также рассмотреть дальнейшие перспективы и оценить влияние получаемой продукции на здоровье и благополучие человека.

Объекты исследования – научные публикации, посвященные изучению химического состава рыбного жира, биоактивных свойств его компонентов и практическому применению в колбасных изделиях. Поиск литературных источников проводили по ключевым словам с использованием библиографических баз данных ScienceDirect, PubMed, Springer Link и eLIBRARY.RU.

Установлено, что потребление в пищу колбасных изделий, приготовленных по традиционным технологиям, может быть связано с потенциальным риском для здоровья организма человека из-за высокого содержания в них насыщенных жирных кислот и холестерина, которые повышают вероятность развития сердечно-сосудистых заболеваний и ожирения. Использование в рецептуре колбас рыбного жира или его комбинации с растительными маслами позволяет уменьшить содержание насыщенных жиров и сформировать сбалансированный жирнокислотный состав с высоким содержанием эссенциальных омега-3 полиненасыщенных жирных кислот. В результате может быть решена проблема корректировки и улучшения липидного компонента колбас. Тем не менее в ряде случаев такая замена требует дополнительных действий по стабилизации жира к окислению, вкусоароматическим характеристикам, а также консистенции готового продукта.

Полученная продукция может быть использована различными группами населения как замена традиционным колбасным изделиям в рационе, что обеспечит достижение ряда положительных эффектов для здоровья потребителей, в т. ч. снизит риск сердечно-сосудистых заболеваний иотрегулирует липидный обмен.

Ключевые слова. Рыбный жир, мясные продукты, колбасные изделия, полиненасыщенные жирные кислоты, пищевая ценность, качество продукта

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 25-26-00792.

Для цитирования: Глухарев А. Ю., Волченко В. И., Гроховский В. А., Колотова Д. С. Жир из рыбного сырья в технологии колбасных изделий: перспективы и проблемы использования. Техника и технология пищевых производств. 2026. Т. 56. № 3. С. 584–609. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2026-3-2659>

Fish-Based Oil in Sausage Production Technology: Prospects and Challenges



Andrei Yu. Glukharev*^{ID}, Vasily I. Volchenko^{ID},
Vladimir A. Grokhovsky^{ID}, Daria S. Kolotova^{ID}

Murmansk Arctic University^{ROR}, Murmansk, Russia

Received: 10.05.2026
Revised: 28.08.2026
Accepted: 01.09.2026

*e-mail: glukharevayu@yandex.ru
© A.Yu. Glukharev, V.I. Volchenko, V.A. Grokhovsky, D.S. Kolotova, 2026



Abstract.

Fish oil provides valuable natural compounds, such as omega-3 polyunsaturated fatty acids and fat-soluble vitamins, which are essential for human health. Its use in sausage production as a substitute for animal and poultry fats improves the nutritional and biological value of the fat fraction, thereby expanding the range of functional and therapeutic products. This review examines scientific literature on the use of fish oil to improve the nutritional value and biological efficacy of sausage fats, while also assessing the prospects and impact of the finished products on human health.

The review covers scientific publications on the chemical composition of fish oil, the bioactive properties of its components, and its practical application in sausage products, indexed in ScienceDirect, PubMed, Springer Link, and eLIBRARY.RU.

Traditional sausage products are often associated with potential health risks due to their high content of saturated fatty acids and cholesterol, which increase the risk of cardiovascular diseases and obesity. Adding fish oil to sausage formulations, alone or with vegetable oils, can reduce the saturated fat content in the finished product by shifting the fatty acid profile toward a higher proportion of unsaturated fats. Fish oil is an effective means of adjusting and improving the fat composition of sausages. However, in some cases, this substitution requires additional measures to stabilize the fat against oxidation, preserve the sensory profile, and maintain the consistency of the finished product.

Sausages containing fish oil serve as a dietary substitute for traditional sausage products, as they reduce the risk of cardiovascular diseases and help regulate lipid metabolism.

Keywords. Fish oil, meat products, sausages, polyunsaturated fatty acids, nutritional value, product quality

Funding. The work was supported by the Russian Science Foundation, project No. 25-26-00792.

For citation: Glukharev AYu, Volchenko VI, Grokhovsky VA, Kolotova DS. Fish-Based Oil in Sausage Production Technology: Prospects and Challenges. Food Processing: Techniques and Technology. 2026;56(3):584–609. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2026-3-2659>

Введение

Мясная промышленность – ключевой сектор мировой и отечественной экономики, одна из важнейших отраслей пищевой промышленности. Мясные продукты пользуются постоянным спросом у населения за счет выраженных органолептических характеристик (хороший внешний вид, красивый цвет, приятный аромат и вкус), отвечающих потребительским предпочтениям, и высоко ценятся как источник животных белков и жиров, а также легкоусвояемых форм минеральных веществ (железо, цинк, фосфор, селен) и витаминов группы В (В₁, В₂, В₃, В₁₂). В то же время изменение традиционных рецептов – как в сторону снижения потенциально вредных компонентов, так и в сторону обогащения функциональными ингредиентами – позволяет существенно повысить биологическую ценность готовых изделий [1, 2]. Однако реализация данного подхода требует направленной оптимизации состава

для сохранения привычных физико-химических и органолептических показателей продукции в соответствии с актуальными запросами рынка [3]. В связи с этим использование нетрадиционных видов сырья и пищевых ингредиентов с функциональной активностью, равно как и применение особых биотехнологических приемов, представляется важным фактором при создании современных мясных продуктов для здорового питания – таких, которые не только удовлетворяют потребности организма в основных питательных веществах, но и оказывают позитивное влияние на функционирование органов и тканей [4–6]. Подобного рода продукты приобретают особое значение на фоне наблюдаемого дефицита незаменимых микронутриентов в рационе питания населения России и некоторых западных стран [7–14].

Колбасные изделия относятся к ценным высокопитательным продуктам питания, которые готовятся

из смеси различных видов мяса с добавлением жира, белковых препаратов, нитритно-посолочной смеси, пряностей и других пищевых ингредиентов и добавок, помещенных в натуральную или искусственную колбасную оболочку. В настоящее время мясные изделия, в частности колбасы и мясные полуфабрикаты, составляют важную часть рациона и играют значительную роль в структуре питания населения многих стран мира, включая Россию [15, 16]. Ускоренная урбанизация и действующие социально-экономические факторы поддерживают высокий спрос на мясо и переработанную мясную продукцию [17, 18]. Согласно последним статистическим и экономическим оценкам, среднудшевое потребление мяса и мясопродуктов в России демонстрирует стабильный рост, достигнув значений свыше 80 кг на человека в год, что существенно превышает рекомендованные медицинские нормы [16, 19, 20]. При этом совокупный объем производства колбасных изделий в России стабильно удерживается на уровне 2,5 млн т ежегодно [21]. Следовательно, готовые продукты становятся неотъемлемой частью повседневной жизни, и изделия на основе мясного фарша (колбасы) идеально встраиваются в эту модель.

Большое значение при производстве колбас имеют жиры наземных животных и птиц, поскольку они определяют питательную ценность, консистенцию и вкус готового продукта благодаря своему химическому составу, а также кулинарным и физико-химическим свойствам. При этом проблема несбалансированного питания на фоне высокого уровня употребления колбасных изделий сопряжена с повышенным риском возникновения сердечно-сосудистых заболеваний и различных нарушений обмена веществ (диабет, избыточная масса тела, ожирение). Это связано с тем, что колбасы содержат большое количество насыщенных жиров, которые при избыточном поступлении в организм повышают уровень холестерина липопротеинов низкой плотности в крови [22]. Кроме того, в жирах наземных животных соотношения полиненасыщенных и насыщенных жирных кислот (ПНЖК и НЖК соответственно), а также омега-6 и омега-3 ПНЖК не соответствуют рекомендуемым значениям. Перспективным решением этой проблемы может стать целенаправленное обогащение состава корма сельскохозяйственных животных источниками ненасыщенных жирных кислот, что позволяет напрямую корректировать жирнокислотный состав липидов тканей животных еще на этапе выращивания [23].

Рыбные жиры¹, получаемые из рыбного сырья, отличаются высокой биологической ценностью и служат

источником уникальных функциональных пищевых ингредиентов – омега-3 ПНЖК, а также жирорастворимых витаминов (А, Е и D), которые при регулярном употреблении оказывают терапевтический эффект [24, 25]. Благодаря такому составу эти жиры способствуют снижению риска развития ряда заболеваний, таких как сердечно-сосудистые заболевания, диабет, психические расстройства, поражения почек, ожирение, болезни костей и тяжелые воспаления [26–28]. Умеренное потребление жирных видов рыб и продуктов, изготовленных с применением рыбных жиров, соответствует современным принципам здорового питания и носит профилактический характер.

Введение рыбного жирового сырья или рыбного жира в рецептуры колбасных изделий в качестве частичной замены свиного шпика и других животных жиров позволит увеличить содержание в продукте омега-3 ПНЖК и тем самым скорректировать его липидный состав. Кроме того, колбасные изделия, полученные таким образом, могут сделать потребление рыбного жира более доступным в тех случаях, когда по определенным причинам существуют проблемы или ограничения с приемом капсул. Поэтому снижение доли животных жиров или их частичная замена в рецептуре колбас особо актуальна.

Изменение липидной фракции мясопродуктов основано на рекомендациях учреждений здравоохранения относительно потребления ПНЖК в целях улучшения здоровья [29, 30]. В частности, согласно действующим в Российской Федерации нормам физиологических потребностей, адекватный уровень суточного потребления длинноцепочечных омега-3 ПНЖК (суммарно эйкозапентаеновой (ЭПК) и докозагексаеновой (ДГК) кислот) для детей от 3 до 17 лет и взрослого населения составляет 250 мг (0,25 г). В то же время для детей до 2 лет суточная потребность в ДГК в рационе составляет 100 мг [31, 32]. Создание новых колбасных изделий с рыбным жиром позволит не только оптимизировать жировую фракцию продукта, но и обогатить ее витаминами, что приобретает особую актуальность в связи с дефицитом этих нутриентов, отмечаемым более чем у 60 % взрослых россиян. Данная научная стратегия способна расширить ассортимент продуктов специализированного, лечебно-профилактического и функционального питания.

Отдельного рассмотрения требует вопрос сохранения данных веществ в готовом продукте, т. к. известно, что тепловая обработка разрушает отдельные витамины, а также усиливает окисление и гидролиз жира [33]. Помимо этого, рыбный жир обладает характерным ароматом и вкусом, которые могут вызывать нежелательные изменения в органолептических и потребительских свойствах продукта. В связи с этим возрастает интерес к технологиям, позволяющим стабилизировать биоактивные вещества для сохранения их функциональных свойств на всех этапах создания, переработки и хранения продукции.

¹ В научной литературе также используется термин «рыбий жир» – фармакологическое название медицинского жира, выделяемого из печени рыб. Принимая во внимание данный факт, отметим, что в настоящей работе рассмотрен жир из рыбного сырья в целом как пищевой продукт или ингредиент в составе пищевого продукта. Поэтому для обеспечения точности восприятия и единообразия терминологии в тексте всей статьи использован термин «рыбный жир».

Таким образом, имеющиеся научные данные могут помочь исследователям и технологам пищевой промышленности в разработке новых мясных продуктов, способных оказывать положительное влияние на здоровье человека. Цель исследования – проанализировать и систематизировать научные данные о существующих методах улучшения жирнокислотного состава колбасных изделий за счет использования рыбного жира и рыбного жирового сырья, а также рассмотреть дальнейшие перспективы и оценить влияние получаемой продукции на здоровье и благополучие человека.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись научные публикации, посвященные изучению химического состава рыбного жира, методов его получения, биоактивных свойств содержащихся в нем веществ, а также его практическому применению в колбасных изделиях.

В соответствии с обозначенной целью в работе поставлены следующие задачи:

1. Осуществить поиск и отбор литературы.
2. Изучить, систематизировать и проанализировать данные о химическом составе и пищевой ценности рыбного жира, способах и методах его использования в технологии колбасных изделий, а также о влиянии данного ингредиента на качество готового продукта.
3. Обобщить полученные результаты и сформулировать заключение.

Отбор и систематизация научной литературы по теме исследования выполнены в соответствии с методикой, предложенной Н. Snyder [34] и R. G. Torracco [35]. Первоначально найденные материалы, соответствующие тематике исследования, проанализированы на предмет непротиворечивости, актуальности и соответствия цели работы, после чего отобранные материалы обобщены, систематизированы и представлены в дальнейших разделах обзора; на их основе сформулированы заключительные выводы.

Поиск литературы по теме работы проводили с использованием информационно-поисковых систем: Google, Yandex и Google Scholar, а также баз данных – Scopus и Web of Science, по ключевым словам и словосочетаниям: дефицит питательных веществ, рыбный жир, мясные продукты, колбасные изделия, полиненасыщенные жирные кислоты, омега-3, пищевая ценность, биологическая активность, качество продукта. Для поиска использованы общедоступные научные электронные библиотеки и информационные ресурсы, содержащие широкий спектр статей, журналов, книг и других материалов: eLIBRARY.RU, ScienceDirect, PubMed, MDPI и Springer Link.

Наряду с источниками, подготовленными другими авторами, в работе использовались публикации авторов настоящей статьи по рассматриваемой проблематике. В качестве материала использованы следующие типы публикаций: Article, Review, Conference Paper, Chapter. Временной интервал для отбора статей ограничен

1980–2026 гг. Выбор начальной точки обусловлен тем, что именно с 1980-х гг. в мясной индустрии начались систематические исследования по корректировке рецептур для снижения доли насыщенных жиров и поиску альтернативных источников липидов [36]. Анализ указанного периода позволяет проследить эволюцию технологических подходов – от прямой замены жиров наземных животных рыбными жирами до современных высокотехнологичных методов микрокапсулирования липидных систем. При этом особый акцент сделан на наиболее актуальных исследованиях последних лет.

Исследования выполнены на базе научно-исследовательской лаборатории «Химия и технология морских биоресурсов» (проект «Наука и университеты») и на кафедре технологий пищевых производств ФГАОУ ВО «Мурманский арктический университет» (Мурманск, Россия).

Результаты и их обсуждение

Рыбная промышленность занимает особое место в экономике многих стран мира. Водные биоресурсы служат основными источниками для получения разнообразных пищевых продуктов и широкого спектра биологически активных веществ, в т. ч. выделяемых из объектов вторичной переработки, которые, в свою очередь, используются для получения ряда лечебных, кормовых и технических продуктов [37, 38].

В составе рыбного сырья содержится значительное количество различных химических соединений, среди которых особый интерес представляют липиды с высокой биологической ценностью [24, 39]. Данные вещества являются ценными пищевыми ингредиентами и могут использоваться для создания продуктов питания, обогащенных биоактивными соединениями, способствующими улучшению здоровья человека и решению проблем, связанных с ростом ряда алиментарно-зависимых заболеваний.

Рыбный жир: характеристика и объекты выделения. Жиры рыб – это липидная фракция, выделяемая из жиросодержащего рыбного сырья, представляющая собой густоватую прозрачную маслянистую жидкость со светло-желтым или янтарным оттенком, обладающая характерным запахом и вкусом. Высокая биологическая ценность липидной продукции, получаемой из гидробионтов, обусловлена их уникальным жирнокислотным составом: значительным содержанием полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) семейства омега-3 (особенно эйкозапентаеновой (ЭПК), докозагексаеновой (ДГК) и α -линоленовой кислот), а также присутствием витаминов А, Д и Е, что служит основной причиной их благоприятного воздействия при ряде заболеваний, а также обеспечивает нормальное развитие и адаптацию организма человека к неблагоприятным факторам окружающей среды [40–42].

В совокупности жирные кислоты состоят из углеводородных цепей с карбоксильной ($-\text{COOH}$) и метильной ($-\text{CH}_3$) группами на концах. Они различаются по длине

цепи, степени насыщенности и положению двойных связей. Природные жирные кислоты, не подвергавшиеся порче или искусственной модификации, имеют строго линейную структуру молекулы, не содержат сопряженных или алленовых двойных связей; при этом относительно каждой двойной связи такая молекула находится в цис-конфигурации (природные транс-изомеры встречаются в очень малых количествах). Также в природе преобладают жирные кислоты с четным числом углеродных атомов, кислоты с нечетным числом атомов присутствуют в микроколичествах, однако выполняют важные физиологические функции. Омега-3 жирные кислоты содержат двойную углерод-углеродную связь, следующую за третьим атомом углерода со стороны метильного конца [43]. Полярные и гидрофобные группы, входящие в структуру липидов, обуславливают их участие в формировании биологических мембран, переносе веществ через них, энергообеспечении клетки и защитных реакциях организма. Жирные кислоты с двойными связями способны нормализовать липидный обмен в организме животных и человека.

Основным пищевым источником омега-3 жирных кислот служат жирные виды рыб и некоторые морепродукты, кроме того, они содержатся в ряде растительных масел (льняном, из семян крестоцветных, соевом). Россия обладает высоким потенциалом для производства рыбного жира. В качестве источников сырья могут использоваться океанические и морские виды рыб с высокой жирностью, такие как тихоокеанская и атлантическая сельдь, скумбрия, дальневосточная сардина (иваси), сайра, а также аквакультурные лососевые рыбы [44–48]. Помимо этого, в качестве жиросодержащего сырья при производстве рыбного жира часто используют печень некоторых видов рыб (трески баренцевоморской, атлантической и балтийской, пикши, путассу северной, макруруса тупорылого), жир внутренних органов, туловищные жиры рыб, включая покровное сало морских млекопитающих. Печень, отделяемую при разделке тресковых видов рыб, также направляют на производство стерилизованной рыбной продукции. Из отобранного печеночного сырья вырабатывают жир, пользующийся высоким спросом и широко применяемый для производства медицинских препаратов, биологически активных добавок к пище, функциональных и обогащенных пищевых продуктов, а также кормовых добавок [49, 50]. Для непосредственного обогащения колбасных изделий наиболее целесообразно использовать очищенные туловищные жиры морских рыб. Однако прямое введение рыбных жиров в мясные эмульсии сопряжено с технологическими рисками, что обуславливает необходимость применения специальных методов их стабилизации и физической модификации, подробно рассматриваемых далее.

В последние годы особое внимание привлекают рыбы пониженной товарной ценности, вторичное рыбное сырье и пресноводные рыбы – альтернатив-

ные источники сырья для получения липидной продукции [51–53]. Среди пресноводных объектов России в этом отношении определенный интерес представляют толстолобик и сом [54, 55]. Их использование может стать одним из возможных подходов в удовлетворении высокого спроса и устойчивом обеспечении населения ПНЖК омега-3 и жирорастворимыми витаминами в связи с чрезмерной эксплуатацией и сокращением численности традиционных промысловых видов рыб. Таким образом, жиросодержащее рыбное сырье представляет собой важный источник рыбного жира, который следует извлекать и использовать с учетом его состава, качественных характеристик и показателей безопасности.

Методы выделения рыбного жира. Качество рыбного жира напрямую зависит от двух основных факторов – свежести рыбного жирового сырья и технологии извлечения из него жира. В зависимости от технологических условий на качество жирового продукта могут воздействовать высокие температуры и контакт с кислородом воздуха, а также используемые реагенты (вода, ферменты, органические кислоты) [56].

Процесс выделения жира из тканей и внутренних органов (в т. ч. печени) гидробионтов включает разрушение их структуры методами нагрева (вытапливания), замораживания, экстракции или механического воздействия (гидравлического прессования, сепарирования или центрифугирования). Также жир выделяют с помощью механического (гидромеханического) импульса и электроимпульса. В дальнейшем жир-сырец направляют на очистку и фильтрацию, а при необходимости – на витаминизацию. К новым методам относятся экстракция сверхкритическими флюидами [57], ферментативная экстракция [58], экстракция с помощью микроволнового (сверхвысокочастотного) излучения и экстракция с помощью ультразвука [59].

Химический состав рыбного жира. Гидробионты отличаются особым химическим составом. К основным соединениям, образующим ткани и органы рыб, относятся липиды, в т. ч. хорошо усвояемые жиры. Фракционный состав липидов мышечной ткани гидробионтов варьируется в широких пределах в зависимости от жирности рыб (тощие, средней жирности, жирные), их возраста, ареала обитания и сезона вылова. Обобщенный анализ основных семейств промысловых океанических, морских и пресноводных рыб показывает, что в общем количестве выделенных липидов содержится: 1,5–13,6 % (от общего количества липидов) фосфолипидов; 18,5–67,1 % триглицеридов высших жирных кислот; 2,5–19,4 % диглицеридов; 1,6–6,6 % моноглицеридов; до 16 % стероидов и восков; до 13 % углеводов [60]. При этом в мясе тощих видов рыб (например тресковых) основную массу липидов составляют фосфолипиды. У жирных видов рыб (например скумбрии), а также в печени рыб (минтая, трески, северной путассу) преобладают триглицериды, за исключением кеты [61–63].

Содержание отдельных жирных кислот в липидах рыб также непостоянно. Липиды гидробионтов включают насыщенные жирные кислоты (НЖК), мононенасыщенные жирные кислоты (МНЖК) и ПНЖК [64]. Среди НЖК преобладает пальмитиновая кислота, доля которой составляет 12,2–20,6 % от суммы жирных кислот; среди МНЖК доминирует олеиновая кислота (7,7–20,2 %), а ключевыми ПНЖК выступают ЭПК и ДГК, суммарная доля которых совместно с линолевой кислотой достигает 14,1–30,4 % [56]. Кроме того, липидные фракции рыб содержат такие эссенциальные макро- и микроэлементы, как фосфор, серу, йод и бром [44, 60].

Жирнокислотный состав липидов печени трески включает линоленовую (0,4 %), гадолеиновую (8,8–29,8 %), арахидоновую (0,4 %), ЭПК (7,6–19,2 %), докозапентаеновую (0,6 %), ДГК (10,3–24,9 %) кислоты [65, 66]. Характерные для липидов рыб ПНЖК, в особенности ЭПК и ДГК, а также α -линоленовая кислота, играют важную роль в организме млекопитающих (в т. ч. человека) и обладают различными терапевтическими эффектами [67–69], которые рассмотрены в следующем подразделе.

Терапевтический эффект рыбного жира. Установлено, что при ряде заболеваний ключевым фактором благоприятного действия жиров и масел с высокой биологической эффективностью служит их жирнокислотный состав. В пищевых продуктах ПНЖК представлены двумя основными классами – омега-3 и омега-6 жирными кислотами. При этом качественный липидный профиль жирового сырья, богатого омега-3 ПНЖК, способствует снижению уровня триглицеридов и холестерина в крови, проявляет антитромботическую активность и оказывает профилактическое воздействие [70].

Исключительно высокой биологической ценностью в данном контексте обладает рыбный жир. Регулярное потребление рыбного жира как источника омега-3 ПНЖК благоприятно влияет на здоровье человека. Подтверждена его ключевая роль в поддержании функций сердечно-сосудистой системы [71], снижении рисков развития онкологических заболеваний, уменьшении выраженности воспалительных процессов [72], а также в улучшении когнитивных функций и нормализации работы центральной нервной системы [73–75]. Совокупность этих свойств позволяет отнести рыбный жир к категории функциональных пищевых ингредиентов. В связи с этим использование рыбного жира для обогащения продуктов питания представляется эффективным технологическим способом предотвращения дефицита омега-3 ПНЖК в рационе населения [76], в т. ч. у групп потребителей, не имеющих пристрастия или редко употребляющих рыбную продукцию.

Биохимический механизм терапевтического действия этих веществ на клеточном уровне во многом обусловлен участием арахидоновой кислоты, ЭПК и ДГК в синтезе эйкозаноидов – группы соединений,

регулирующих многие важные физиологические функции организма. Под действием фермента циклооксигеназы из ПНЖК образуются лейкотриены и соединения семейства простаноидов, включающего простагландин, простагландины и тромбоксан [77, 78]. Роль простаноидов и лейкотриенов в организме человека чрезвычайно важна, поскольку они выступают ключевыми биорегуляторами клеточных функций. Данные биоактивные вещества липидной природы модулируют секреторную активность органов, регулируют тонус гладкой мускулатуры и кровеносных сосудов, а также определяют адгезионную и агрегационную способность тромбоцитов.

Дисбаланс в синтезе простаноидов и лейкотриенов, обусловленный несбалансированным питанием, приводит к развитию системных патологических изменений в организме. Так, дефицит их образования угнетает адаптационные механизмы тканей, в то время как избыточный или несбалансированный синтез провоцирует хронические воспалительные процессы, нарушения иммунного ответа и сосудистые патологии [78–80]. В связи с этим коррекция липидного профиля рациона человека является важнейшим инструментом снижения риска указанных нарушений.

На системном уровне это проявляется в выраженном кардиопротективном, нейропротективном и онкопрофилактическом эффекте регулярного употребления омега-3 ПНЖК. Клинически доказано их стабилизирующее влияние на частоту сердечных сокращений, способность снижать артериальное давление и уровень атерогенных липидов в крови, что минимизирует риски развития инфаркта миокарда и атеросклероза [43]. Кроме того, регуляция синтеза эйкозаноидов позволяет рассматривать данные жирные кислоты как важный элемент диетотерапии при метаболических и дегенеративных расстройствах, включая ожирение, сахарный диабет второго типа, неалкогольную жировую болезнь печени и болезнь Альцгеймера.

Анализ результатов исследований, представленных в таблице 1, подтверждает, что регулярный прием рыбного жира или употребление жирных видов рыб повышает концентрацию омега-3 ПНЖК в плазме крови, снижает уровень стресса и тревожности, улучшает качество сна и когнитивные функции. При этом корреляция между снижением массы тела и потреблением омега-3 жирных кислот остается неоднозначной. Наряду с этим употребление омега-3 жирных кислот на фоне диеты, поддерживающей фертильность, положительно влияет на оплодотворяемость и качество эмбрионов у бесплодных женщин, а потребление морепродуктов на ранних сроках беременности снижает риск преждевременных родов.

Таким образом, регулярное потребление жирной рыбы и морепродуктов, а также рыбного жира в капсулах, содержащих омега-3 ПНЖК, способно улучшить рацион и устранить дефицит незаменимых нутриентов. В следующем подразделе рассмотрена возмож-

ность оптимизации липидного профиля колбасных изделий за счет включения в их рецептурный состав рыбного жира как эффективного способа доставки омега-3 ПНЖК в организм человека.

Особенности жирнокислотного состава мяса и мясных продуктов. Пищевой жир – один из важнейших макронутриентов рациона человека. Организм использует жиры как высокоэффективный источник энергии: они выполняют функцию структурного и резервного вещества, а также служат источником эссенциальных соединений, участвующих в биосин-

тезе клеточных мембран, нервной и мозговой тканей. Потребление жиров в правильном количественном и качественном отношении положительно влияет на состояние здоровья населения.

В настоящее время многочисленные исследования структуры потребления пищевых продуктов – как в западных странах [13], так и в России [88] – свидетельствуют о существенном отклонении от современных принципов здорового питания. Рацион большинства граждан России характеризуется избыточным поступлением насыщенных жиров на фоне выраженного хронического

Таблица 1. Наблюдаемые эффекты воздействия принимаемого рыбного жира на здоровье людей

Table 1. Effects of fish oil on human health

Используемые добавки и сырье	Дозировка	Участники	Продолжительность	Наблюдаемый эффект	Источник
Рыбный жир, льняное и конопляное масло в капсулах	2 г жира (или масла)/сутки	86 здоровых мужчин и женщин	12 недель	Увеличение уровня докозагексаеновой и эйкозапентаеновой кислот в плазме крови после 3 месяцев приема рыбного жира. Концентрация α -линоленовой кислоты временно увеличивалась после приема льняных семян. Прием масла конопли не изменил концентрацию жирных кислот в плазме крови	[81]
Жирная рыба (лосось и тунец альбакор), рыбный жир в капсулах	485 мг эйкозапентаеновой и докозагексаеновой кислот из 2 порций жирной рыбы в неделю или из 1–2 капсулы/сутки	23 здоровых женщин в менопаузе в возрасте от 21 до 49 лет	16 недель	Употребление жирной рыбы еженедельно или ежедневный прием капсул рыбного жира с одинаковым содержанием эйкозапентаеновой и докозагексаеновой кислот оказывает одинаковое влияние на количество омега-3 жирных кислот в липидах крови	[82]
Капсулы рыбного жира	5 капсул/сутки (3,0 г эйкозапентаеновой и докозагексаеновой кислот)	128 человек с ИМТ от 26 до 40 кг/м ²	6 месяцев	Значимых различий в потере веса между группой принимающей капсулы с омега-3 и плацебо не наблюдалось	[83]
Рыбный жир в капсулах	1020 мг омега-3 полиненасыщенных жирных кислот (580 мг эйкозапентаеновой кислоты, 390 мг докозагексаеновой кислоты, 50 мг других омега-3 полиненасыщенных жирных кислот)	40 взрослых добровольцев в возрасте 30–60 лет с ИМТ от 27,0 до 35,0 кг/м ²	12 недель	Уменьшение веса, талии и ИМТ в обеих группах. Жировая масса и процент жира на брюшном животе снизились в группе, принимающей рыбный жир, больше, чем в контрольной группе	[84]

Продолжение таблицы 1

Используемые добавки и сырье	Дозировка	Участники	Продолжительность	Наблюдаемый эффект	Источник
Капсулы омега-3 жирных кислот, витамин D, витамины группы В	1000 мг омега-3 жирных кислот, 1000 МЕ витамина D, 1 мг фолата и 500 мг витамина B ₁₂	180 бесплодных женщин в возрасте 18–42 лет	12 месяцев, диета 60 дней	Повышение показателей оплодотворения, скорости формирования эмбрионов, количества образованных эмбрионов	[86]
Морепродукты, богатые омега-3 жирными кислотами: икра, креветки, крабы и мидии	От одного раза в месяц до ежедневного потребления морепродуктов в составе горячего блюда (144 г морепродуктов – 1627 мкг омега-3 жирных кислот), сэндвича (29 г морепродуктов – 431 мкг омега-3 жирных кислот), и салата (50 г морепродуктов – 149 мкг омега-3 жирных кислоты)	8729 беременных женщин	1992–1996 гг.	Частота преждевременных родов снизилась в группе, употреблявшей морепродукты в составе горячего блюда и бутербродов не реже одного раза в неделю. Расчетное суточное потребление должно составлять 15 г морепродуктов или 0,15 г омега-3 жирных кислот	[87]

дефицита эссенциальных макро- и микронутриентов, в т. ч. длинноцепочечных омега-3 ПНЖК. Их недостаток в организме приводит к возникновению алиментарно-зависимых заболеваний. Поэтому среди различных видов функциональных и обогащенных продуктов питания значимую роль занимают продукты с использованием ПНЖК [89]. Мировой опыт показывает, что обогащение широко употребляемых продуктов повседневного спроса (включая мясные, молочные и хлебобулочные изделия и др.) рыбным жиром является наиболее эффективной стратегией преодоления дефицита омега-3 ПНЖК среди населения [76].

В связи с этим необходимость оптимизации жирового профиля продуктов обусловлена современными требованиями нутрициологии к качественному составу макронутриентов в рационе человека. Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) разработаны диетические рекомендации по оптимальному потреблению НЖК и ненасыщенных жирных кислот (МНЖК, ПНЖК) [90]. Данные международные рекомендации практически полностью совпадают с действующими в РФ нормами физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах [31]. Согласно нормам ВОЗ, общее потребление жиров с пищей для взрослого населения должно составлять 15–30 % калорийности суточного рациона, в России аналогичный показатель не превышает 30 %. При этом регламентируемые соотношения отдельных фракций жирных кислот практически

идентичны: доля НЖК должна равняться не более 10 % от общей энергии рациона, суточная потребность в ПНЖК устанавливается в пределах 6–10 % (с внутренним балансом: 5–8 % для омега-6 и 1–2 % для омега-3 ПНЖК); МНЖК – 10 %. Трансжирные кислоты ограничиваются уровнем менее 1 %, а потребление холестерина лимитируется до 300 мг/сутки. Рекомендованное потребление ЭПК и ДГК омега-3 жирных кислот для пациентов, страдающих ишемической болезнью сердца, составляет 1 г/сутки, для пациентов с гипертриглицеридемией – 2–4 г/сутки ЭПК + ДГК [91]. Дополнительно, с позиции нутрициологии, оптимальное соотношение ПНЖК к НЖК в рационе питания человека должно находиться в интервале от 0,4 до 1,0, а пропорция омега-6 к омега-3 ПНЖК не должна превышать 4:1. Все это подчеркивает глобальную значимость снижения доли НЖК в рационе и подтверждает актуальность изменения липидного профиля традиционных пищевых продуктов на отечественном рынке.

Мясо и мясные продукты занимают особое место в повседневном рационе человека. Эта группа продуктов служит важным источником различных питательных веществ, в особенности белков животного происхождения с высокой биологической ценностью, а также пищевых жиров. Согласно различным прогнозам, глобальные объемы потребления мяса в мире будут стабильно расти, что обусловлено как экономическими, так и культурными факторами [20]. В структуре отечественного продовольственного рынка мясной

продукции значительную долю занимают колбасные изделия, демонстрирующие стабильные темпы производства [18, 92]. Высокий потребительский спрос на данную группу товаров в России обусловлен сочетанием ценовой доступности, развитого ассортимента, удобства употребления, выраженных органолептических свойств и традиционных привычек населения.

Традиционная технология производства мясных колбасных изделий позволяет получить высокопитательный продукт, однако имеет ряд существенных недостатков, ключевой из которых – дисбаланс жировой фракции продукта, обусловленный использованием в рецептуре преимущественно жиров наземных животных. Произведенная таким образом продукция содержит избыточное количество НЖК, регулярное потребление которых связано с повышением уровня холестерина липопротеинов низкой плотности. Поскольку жирность и липидный профиль мясного сырья (в особенности свиного шпика) существенно отличаются от рекомендуемых значений в сторону преобладания НЖК, готовые колбасные изделия характеризуются низким качеством жировых компонентов (в частности, биологической эффективностью липидов) [23].

Следовательно, пищевую и биологическую ценность мясных продуктов можно повысить путем оптимизации качественного и количественного состава липидов, в особенности за счет обогащения омега-3 жирными кислотами из рыбного жира для достижения позитивного эффекта для здоровья человека. В связи с этим требуется улучшение жирнокислотного состава мясного сырья через рацион питания животных или пересмотр рецептур колбасных изделий путем частичной или полной замены шпика альтернативными липидами (источниками ЭПК и ДГК), что может служить эффективным технологическим путем для приведения мясных продуктов в соответствии с международными и отечественными рекомендациями по здоровому питанию [93, 94]. Такое расширение ассортимента выпускаемой мясной продукции за счет добавления полезных для здоровья функциональных ингредиентов может стать отличным методом увеличения потребления ПНЖК населением, приблизить рацион к принципам рационального питания, не требуя существенных изменений в устоявшихся пищевых привычках потребителей [95]. Объективным подтверждением необходимости изменения рецептуры мясных продуктов служат данные о содержании жирных кислот в некоторых видах сырья и готовой колбасной продукции, представленные в таблице 2.

Сравнительный анализ жирнокислотного состава показывает, что липидный профиль сырья наземных животных и традиционной колбасной продукции сформирован преимущественно из НЖК и МНЖК. Несбалансированное питание в сочетании с избыточным поступлением в организм НЖК из колбасных изделий связывают с повышением уровня холестерина и риском развития атеросклероза, сахарного диабета и ожирения.

В качестве здоровой альтернативы традиционным компонентам могут выступать немясные источники липидов, в частности рыбное жировое сырье и рыбные жиры с высоким содержанием ПНЖК. Их внесение в рецептуру колбасных изделий в качестве жирового компонента обеспечивает получение продукта с улучшенным жирнокислотным составом за счет целенаправленного снижения доли НЖК.

Таким образом, учитывая стабильно высокий и прогнозируемый уровень потребления мясной продукции населением и описанный физиологический потенциал липидов рыбного сырья, использование рыбного жира в рецептуре колбасных изделий имеет высокое практическое значение в качестве эффективного инструмента для создания новой продукции с улучшенным жирнокислотным составом [106].

Использование рыбного жира в колбасных изделиях: способы включения и сохранения. В современных условиях модификация липидной фракции мясного сырья и мясных продуктов достигается как методами направленного ведения животноводства, так и использованием конкретных технологических решений в процессе его переработки. В первом случае повышение биологической ценности липидов основано на прижизненном формировании качественных характеристик мяса путем оптимизации рациона кормления животных. Добавление рыбного жира или рыбной муки в корма сельскохозяйственных животных позволяет снизить толщину подкожного жира на тушах, сместить жирнокислотный состав мышечной ткани в сторону увеличения доли ПНЖК и уменьшить уровень холестерина [107, 108].

Альтернативный (технологический) подход является более универсальным и заключается в непосредственном изменении рецептурного состава мясopодуlтов. Многочисленные исследования показали возможность замены в колбасных изделиях жиров наземных животных (преимущественно свиного шпика или говяжьего жира) рыбными жирами, растительными маслами или их композициями [98, 109, 110]. При этом особое внимание уделяется медицинским рекомендациям по потреблению омега-3 ПНЖК – 0,25 г ЭПК и ДГК на человека в сутки для поддержания здоровья населения [29, 30].

Несмотря на высокий потребительский спрос на колбасные изделия как на готовые к употреблению продукты, избыточное содержание насыщенных жиров в их составе обуславливает необходимость улучшения липидного профиля. Модификация жирового компонента представляет собой сложную задачу, поскольку введение альтернативных источников жира (в частности, рыбных жиров) напрямую влияет на физико-химические процессы структурообразования мясных эмульсий на этапах измельчения сырья, составления колбасного фарша и его последующей термической обработки [111, 112]. Использование в рецептуре колбас рыбного жира или рыбного жирового сырья направлено

Таблица 2. Содержание жирных кислот в некоторых видах сырья и готовой продукции

Table 2. Content of fatty acids in raw materials and finished products

Продукт	Массовая доля жира, %	Насыщенные жирные кислоты, %	Мононенасыщенные жирные кислоты, %	Полиненасыщенные жирные кислоты, %	Полиненасыщенные жирные кислоты: насыщенные жирные кислоты	Источник
Мясо						
Говядина	1,62–5,15	50,94	43,71	4,87	0,10	[96]
Свинина	2,15–3,20	37,62	46,55	12,86	0,35	
Свиной жир	80,16	38,59	45,62	13,11	0,34	
Курица	1,00–2,55	33,43	44,83	21,46	0,65	
Колбасные изделия						
Сыровяленая колбаса по-голландски	39,40	44,91–46,04	42,76–43,86	11,20–11,23	0,24–0,25	[97]
Сыровяленая колбаса (Чоризо)	31,60	37,51	47,41	12,41	0,33	[98]
Сыровяленая колбаса (Сальчичон)	22,48	35,36	46,05	18,60	0,53	[99]
Вареная колбаса (Мортаделла)	14,14–23,12	38,83–40,87	41,61–43,78	10,82–12,59	0,28–0,31	[100]
Рыбное жировое сырье						
Балтийская сельдь (<i>Clupea harengus membras</i>)	5,00–10,00	28,06	34,41	37,53	1,34	[101]
Индийская скумбрия (<i>Rastrelliger kanagurta</i>)	17,30	19,36	11,17	68,65	3,55	[102]
Жир из печени атлантической трески (<i>Gadus morhua</i>)	99,80	22,43	54,96	22,60	1,01	[103]
Жир из сардины (рафинированный)	99,80	31,20	22,30	45,50	1,46	[104]
Печень рыб						
Атлантическая треска (<i>Gadus morhua</i>)	59,10	19,42	42,33	32,34	1,67	[105]
Хек (<i>Merluccius merluccius</i>)	66,60	21,69	41,63	32,33	1,49	
Морская щука (<i>Molva molva</i>)	59,40	19,36	44,81	30,57	1,58	
Сайда (<i>Pollachius virens</i>)	72,00	20,53	42,28	31,65	1,54	
Морской черт (<i>Lophius piscatorius</i>)	40,90	20,86	42,68	30,68	1,47	

на обогащение готового продукта омега-3 ПНЖК. Это требует включения в технологический процесс новых операций по подготовке жировых компонентов, обеспечивающих их эффективное введение и стабилизацию в мясной матрице. На рисунке 1 представлена общая классификация способов внесения рыбного жира в колбасные изделия на стадии получения колбасного фарша. В таблице 3 систематизированы результаты исследований по обогащению колбасных изделий рыбным жиром с целью снижения содержания животных жиров и улучшения профиля жирных кислот.

Рыбный жир используется в рецептурах эмульгированных (вареных) и структурированных (сыровяленых) колбасных изделий в виде чистого (натурального) жира, в предварительно эмульгированной или инкапсулированной форме, либо в составе рыбного жирового сырья [100]. В результате такой модификации повышается уровень ПНЖК, улучшается состав жирных кислот (ПНЖК:НЖК) и снижается общее содержание холестерина в готовых мясных продуктах. Выбор конкретного метода введения обусловлен технологическими особенностями производства. Так, применительно



Рисунок 1. Способы введения рыбного жира в колбасные изделия

Figure 1. Methods of introducing fish oil into sausage products

Таблица 3. Колбасные изделия, приготовленные с использованием рыбных жиров

Table 3. Sausage products with fish oil

Продукт	Рыбное жировое сырье	Количество в рецептуре, %	Насыщенные жирные кислоты, %	Мононенасыщенные жирные кислоты, %	Полиненасыщенные жирные кислоты, %	Омега-3 полиненасыщенные жирные кислоты, г/100 продукта	Омега-6:омега-3	Полиненасыщенные жирные кислоты: насыщенные жирные кислоты	Источник
Сыровяленая колбаса по-голландски	Рыбный жир (высокоочищенный)	4,50–9,00	41,76–40,81	43,70–43,40	14,55–15,78	–	1,74–1,35	0,35–0,39	[97]
	Инкапсулированный рыбный жир		40,77–37,64	43,21	15,62–19,15	–	1,62–0,90	0,38–0,51	
Сыровяленая колбаса	Инкапсулированный рыбный жир из печени трески (однослойные и многослойные микрокапсулы)	3,00–5,00	–	–	–	$(5,60–6,10) \times 10^{-2*}$	–	–	[113]
Вареные колбасы			–	–	–	$4,30 \times 10^{-2*}$	–	–	
Сыровяленая колбаса (Сальчичон)	Инкапсулированный рыбный жир (однослойные микрокапсулы)	5,00–15,00	35,18–35,43	46,04–45,54	18,78–19,03	0,25–0,28	13,39–9,62	0,53–0,54	[99]
Сыровяленая колбаса	Микрокапсулы (однослойные и многослойные) рыбного жира из печени трески	3,00–5,00	–	–	–	–	–	–	[114]
Вареные колбасы			–	–	–	–	–	–	
Сыровяленая колбаса (Чоризо)	Эмульгированная комбинация жиров (оливковое, льняное масло и рыбный жир)	16,30–18,50	33,16–24,86	44,64–47,50	22,74–25,43	1,05–1,12	1,19	0,76–1,02	[98]
Сыровяленая колбаса	Эмульгированный рыбный жир (дезодорированный)	3,30	36,06	43,25	20,29	1,41	2,97	0,56	[115]
Голландская сыровяленая колбаса	Инкапсулированный рыбный жир	4,50	41,45	45,81	12,74	–	9,59	0,31	[116]

Продолжение таблицы 3

Продукт	Рыбное жировое сырье	Количество в рецептуре, %	Насыщенные жирные кислоты, %	Мононенасыщенные жирные кислоты, %	Полиненасыщенные жирные кислоты, %	Омега-3 полиненасыщенные жирные кислоты, г/100 продукта	Омега-6:омега-3	Полиненасыщенные жирные кислоты:насыщенные жирные кислоты	Источник
Сыровяленая колбаса (Чоризо де Памплона)	Рыбный жир (концентрат)	0,50–1,10	–	12,60–13,80	–	0,56–1,01	7,7–5,3	0,50–0,58	[117]
Вареные колбасы (Мортаделла)	Эмульгированный рыбный жир	1,00–6,00	32,42–33,95	44,35–46,49	19,03–20,73	0,44–1,49	7,07–2,54	0,56–0,64	[100]
Вареные колбасы с низким содержанием жира	Рыбный жир (дезодорированный рафинированный)	5,00	–	–	–	–	–	–	[118]
Сосиски с низким содержанием жира	Эмульгированная комбинация оливкового, льняного и рыбного жира	–	19,30	46,90	33,60	–	0,47	1,70	[110, 119]
Сосиски с низким содержанием жира	Рыбный жир (дезодорированный)	5,00	–	–	–	–	–	–	[36]
Вареные колбасы	Полуфабрикат рыбного жира из печени трески	3,00	–	–	–	0,73	0,58	–	[120–122]
Сосиски	Полуфабрикат печени трески	25,70	38,75	38,02	23,29	2,79	0,26	0,60	[66, 123]
Нежирные колбаски с пониженным содержанием натрия	Эмульгированный рыбный жир (дезодорированный рафинированный) с добавлением 1000 ppm токоферолов	5,00	–	–	–	–	–	–	[124]
Вареные колбасы	Микрокапсулы с жиром из печени трески	2,75; 5,26	35,61–35,83	35,65–35,70	28,53–28,70	–	6,48–6,49	0,80–0,81	[125]
Сыровяленые колбасы		2,75; 5,26	36,53–36,74	35,55–37,78	25,69–27,71	–	10,55–10,96	0,70–0,75	
Сосиски	Рыбный фарш из мяса карпа	46,50–53,50	35,50–38,20	52,00–53,20	10,10–10,70	1,56–2,00	4,36–5,91	0,26–0,30	[126]

Примечание: * – ЭПК + ДГК.

Note: * – EPC + DGK.

к вареным колбасным изделиям замещение жира наземных животных направлено в основном на получение мясных эмульсий со стабильной структурой и пониженным содержанием жира.

В то же время введение чистого рыбного жира (концентрата) в рецептуры фаршевых мясных изделий сопряжено с определенными технологическими рисками [97]. Жидкое агрегатное состояние жиров рыб при комнатной температуре способно вызвать ряд трудностей на этапе фаршесоставления. В частности, необходимо не допускать коалесцирования

частиц жира на стадии куттерования (приготовления колбасного фарша) и последующей термообработке, которая ускоряет данный процесс. Для предотвращения образования дефектов в виде бульонно-жировых отеков, способствующих потере жидкости и снижению качества готового продукта, рыбный жир рекомендуется вводить в виде устойчивой эмульсии, гарантирующей стабильность структуры колбасного фарша [127].

Жиры и масла играют важную роль в рецептурах и процессах изготовления различных пищевых продуктов. Многие характеристики определяются маслом

жировыми ингредиентами. Липидная фракция влияет на структуру, стабильность, вкус, сроки годности, органолептические свойства и товарный вид готовых изделий. Жирнокислотный и триглицеридный состав жиров определяет функциональные свойства пищевых систем даже при умеренном содержании жира в продукте [128]. Поэтому при использовании новых жировых компонентов в рецептуре колбасных изделий необходимо применять комплексный подход к оценке их качества и пищевой безопасности.

Рыбный жир подвержен окислительной порче и способен негативно влиять на органолептические показатели готового продукта – формировать специфический рыбный аромат и привкус, снижающие потребительские свойства изделия. Эти факторы ограничивают применение данного сырья в технологии обогащенных колбасных изделий [129–131]. В связи с этим необходимо решить две задачи: установить оптимальную дозировку вносимого рыбного жира (в диапазоне от 1,0 до 60,0 г/кг фарша) и предотвратить ухудшение органолептических характеристик продукта – за счет специальной упаковки с высокими барьерными свойствами (защита от кислорода и света) и создания определенных условий хранения [76, 132].

В настоящее время риски окислительной порчи могут быть минимизированы за счет рафинации и дезодорации жира, а также применения различных антиоксидантов [133, 134]. Антиоксиданты подавляют окислительные процессы и снижают уровень свободных радикалов и липидных гидропероксидов, непосредственно влияющих на профиль летучих веществ и вызывающих появление неприятных запахов и привкусов. В качестве наиболее эффективных антиоксидантов для стабилизации масел и жиров, богатых ПНЖК, используются токоферолы (α -, γ - и/или δ -), розмариновая кислота и экстракт розмарина, богатые карнозиновой кислотой, лецитин и лимонная кислота [135].

Наряду с прямым введением антиоксидантов, важную роль в предотвращении окислительной порчи обогащенных мясных продуктов играет оптимизация состава других рецептурных компонентов, в частности посолочных веществ. Хлорид натрия – известный прооксидант, интенсифицирующий окисление липидов при производстве колбас. В исследовании [136] показано, что применение посолочных смесей с пониженным содержанием хлорида натрия замедляет накопление продуктов окисления липидов в мясных продуктах. Также установлено, что частичная замена хлорида натрия на хлориды калия и магния или на композицию хлоридов калия и кальция тормозит окислительные процессы, обеспечивая при этом сохранение традиционных органолептических характеристик готовых колбасных изделий.

Добавление рыбного жира в рецептуру колбасных изделий напрямую влияет на их структуру и органолептические показатели. Благодаря рыбному жиру формируется более мягкая консистенция колбас, при этом улуч-

шаются органолептические свойства продукта, наблюдается положительная корреляция между количеством вносимого жира и оценкой по консистенции [100]. Данный эффект может объясняться высокой эмульгирующей и связывающей способностью белков мясного сырья, формирующих стабильную пространственную матрицу (гель), удерживающую диспергированные капли жира.

Физико-химические свойства жира играют определяющую роль в формировании качественных характеристик готового продукта. Поведение липидов в мясной белковой матрице зависит от вида изделия (фарш, вареная или сыровяленая колбаса и т. д.), степени измельчения сырья в процессе куттерования и функционально-технологических свойств сопутствующих ингредиентов [137]. Технология прямых эмульсий типа «масло в воде» показала свою эффективность в качестве средства стабилизации рыбных жиров при включении их в состав мясных продуктов. Использование таких эмульсий для частичной замены свиного шпика открыло новые возможности для создания обогащенных мясных продуктов с заданными реологическими характеристиками и обладающих повышенной пищевой ценностью.

В современных исследованиях для стабилизации рыбного жира (в чистом виде или в комбинации с оливковым и льняным маслами) применяются различные белковые системы (на основе соевого [110, 115] или молочного белков [100, 124]), а также стабилизирующие гели на основе конжаковой муки [98]. Эти компоненты используются как отдельно, так и в смеси с каррагинанами, кукурузным крахмалом и микробной трансглютаминазой. В частности, установлено увеличение твердости, когезивности и адгезивности текстуры вареных колбас (типа бologna) с рыбным жиром за счет добавления в их составе предварительно подготовленных белково-жировых эмульсий на основе казеинатов [100]. Эти белки формируют защитное покрытие на поверхности жировых капель и обеспечивают прочную связь между компонентами системы, что позволяет повышать плотность консистенции готового изделия [138]. Введение таких эмульсий в количестве от 2 до 25 % позволяет не только предотвратить образование жировых отеков, но и обеспечить профиль жирных кислот, соответствующий современным медицинским рекомендациям по здоровому питанию.

Для максимально высокой стабильности ПНЖК в технологическом процессе применяется инкапсулирование (микрокапсулирование) рыбного жира, представленное на рисунке 1 [113, 139]. Данный метод представляет собой процесс заключения микрочастиц целевого вещества в защитную оболочку из биополимерного пленкообразующего материала, что позволяет перевести жидкий рыбный жир в сухую порошкообразную форму. Полная изоляция ПНЖК от контакта с внешней средой устраняет технологические трудности, связанные с высокой гидрофобностью жира, а также маскирует специфический вкус и запах рыбного сырья.

Перспективным направлением является совместное использование рыбного жира и растительных масел (в особенности оливкового и льняного) взамен свиного шпика в технологии сыровяленых колбас, сосисок и мясных паштетов, что позволяет существенно улучшить жирнокислотный профиль продукта [110, 137, 140]. Введение в рецептуру сосисок композиции рыбного жира и оливкового масла обеспечивает направленное обогащение готового продукта омега-3 жирными кислотами. Так, при отдельном использовании микрокапсулированного рыбного жира содержание ЭПК составляет 50,4 мг, ДГК – 168,6 мг на 100 г продукта. В случае применения свободной (некапсулированной) комбинации рыбного жира и масла концентрация эйкозапентаеновой и ДГК в 100 г колбасного изделия достигает 107,9 и 400,2 мг соответственно [141].

В области пищевых технологий, среди существующих способов микрокапсулирования, наибольшее распространение получил метод комплексной коацервации [142–144]. За счет формирования прочного межфазного барьера вокруг капель жира данный способ ограничивает диффузию кислорода внутрь коацервированных микрокапсул и предотвращает накопление нежелательных вторичных продуктов распада (альдегидов и кетонов), гарантируя стабильность органолептических показателей и безопасность готовых изделий [145, 146]. Исследованиями подтверждена высокая стабильность жирорастворимых витаминов [143], а также концентратов омега-3 жирных кислот при их инкапсулировании с использованием коацерватов [147].

В научных исследованиях особое внимание уделяется коацерватам на основе белков и полисахаридов благодаря высокой совместимости биополимеров и относительной простоте их получения. Комплексная коацервация происходит при значениях pH, обеспечивающих противоположные плотности зарядов полимеров и их взаимную нейтрализацию. Для достижения максимальной степени коацервации строго контролируются температура и ионная сила. При создании систем белок-полисахарид, как правило, используют животные, молочные либо растительные белки и анионные полисахариды [148]. Однако применяют и желатин, полученный из млекопитающих и рыб. Он обладает ценными функционально-технологическими свойствами: способностью к термообратимому структурообразованию, биоразлагаемостью и доступной стоимостью, выполняя в пищевых системах роли пенообразователя, эмульгатора и стабилизатора [149].

Опыт использования коацерватов на основе желатина с анионными полисахаридами (пектином и альгинатом натрия) свидетельствует об их высокой термостабильности даже при интенсивном нагревании [150–152]. Применительно к технологиям мясных продуктов данный подход открывает возможность успешного введения микрокапсулированного рыбного жира в состав колбасного фарша. Защитная биополимерная оболочка выдерживает технологические режимы термической

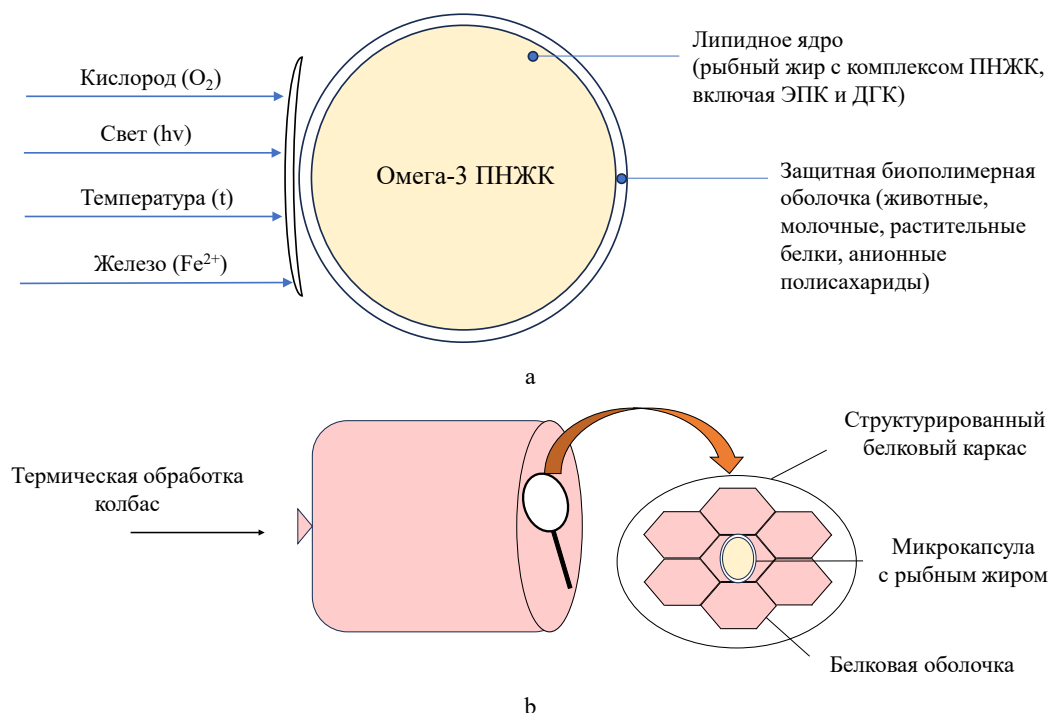
обработки колбас (обжарку и варку), надежно изолируя ПНЖК от температурного воздействия и предотвращая появление постороннего привкуса в готовом продукте.

На рисунке 2 проиллюстрирована схема строения полимерной микрокапсулы с рыбным жиром и принцип ее стабилизации в мясной матрице. При составлении колбасного фарша и последующей термической обработке колбасных изделий микрокапсулы стабильно удерживаются в трехмерной пространственной структуре мясного геля, образуемого миофибриллярными белками. Применение микрокапсулирования при обогащении мясных продуктов, в т. ч. колбас, омега-3 ПНЖК позволяет защитить неустойчивые биологически активные соединения от контакта с окислителями (железо, свет, кислород и высокие температуры), улучшить биодоступность данных веществ, замаскировать неприятный вкус или запах, повысить твердость, а также повлиять на соленость готового продукта [97, 153].

Установлено, что многослойные микрокапсулы эффективнее защищают инкапсулированные биоактивные соединения (омега-3 ПНЖК) рыбного жира от окисления, чем однослойные микрокапсулы [114, 154]. При этом улучшение качественных характеристик однослойных капсул может быть достигнуто за счет подбора оптимальных режимов гомогенизации под высоким давлением исходных эмульсий рыбного жира [155]. В то же время в ряде исследований отмечено, что частичная замена свиного шпика микрокапсулированным рыбным жиром способна вызывать интенсификацию окисления липидов по сравнению с контрольными образцами колбас и колбасами, содержащими некапсулированное оливковое масло и рыбный жир [141].

Таким образом, анализ научно-практических данных свидетельствует об успешном опыте разработки рецептур колбасных изделий с использованием рыбного жира. Созданы новые рецептуры мясных колбас с использованием рыбных жиров. На рисунке 3 представлен внешний вид колбасных изделий, приготовленных с использованием печени трески [66] и рыбного жира [121]. Такая продукция имеет улучшенный химический состав, что способствует дополнительному обеспечению организма человека незаменимыми омега-3 ПНЖК. Несмотря на введение в рецептурный состав нетрадиционных рыбных ингредиентов (полуфабриката и жира из печени трески), органолептические показатели готовых колбас свойственны характеристикам традиционных мясных изделий.

Безопасность и ограничения использования рыбного жира в колбасах. Пищевая жировая продукция из рыбного сырья широко представлена на рынке биологически-активных добавок (БАД) к пище. Рыбные жиры продаются преимущественно в форме капсул и жидкой форме – жидкие экстракты. В последнее время отечественный рынок БАД показывает активный рост, что вызвано работой органов здравоохранения и общей осведомленностью населения о влиянии



ПНЖК – полиненасыщенные жирные кислоты; ЭПК – эйкозапентаеновая кислота; ДГК – докозагексаеновая кислота

Рисунок 2. Схема строения полимерной микрокапсулы с рыбным жиром (а) и принцип ее стабилизации в мясной матрице (b)

Figure 2. Polymeric microcapsule with fish oil (a) and its stabilization in meat matrix (b)



Рисунок 3. Внешний вид колбасных изделий с рыбным жиром, обогащенных омега-3 полиненасыщенными жирными кислотами: а – сосиски с добавлением печени трески; б – вареные колбаски с добавлением жира из печени трески

Figure 3. Sausages with fish oil fortified with omega-3 polyunsaturated fatty acids: a – sausages with cod liver; b – boiled sausages with cod liver

правильного питания и образа жизни на здоровье. По оценкам BusinesStat, производство БАД в России выросло с 2020 по 2024 гг. на 16,3 %: с 375 до 436 млн упаковок. Тем не менее БАД принимают лишь 15 % населения России – время от времени, а регулярно – только около 3 %.

Более доступной альтернативой БАД как дополнительному источнику омега-3 жирных кислот могут служить колбасные изделия с рыбным жиром. Позитивное влияние рыбного жира на здоровье, включая его роль в снижении риска сердечно-сосудистых заболеваний,

хорошо документировано и общепризнано. Также имеются данные о применении рыбного жира во время беременности для здорового развития плода и доношения беременности. Тем не менее употребление колбас с рыбным жиром требует строгой оценки эффективности и обеспечения безопасности. Совместный прием БАД на основе рыбного жира и обогащенных колбасных изделий может быть связан с риском избыточного поступления жирных кислот и витаминов в организм человека, что создает предпосылки для передозировки и развития гипervитаминоза [156].

Состав и упаковка обогащенных рыбным жиром колбасных изделий, а также условия их хранения требуют особой проработки для обеспечения стабильности входящих в продукт омега-3 жирных кислот. В большинстве случаев для обогащенных продуктов отсутствуют крупномасштабные испытания эффективности, хотя они свободно продаются на рынке. Без таких испытаний и последующего одобрения со стороны регулирующих органов эти продукты не могут занять достойное место на рынке функциональных пищевых продуктов и завоевать доверия потребителей. Важно, чтобы дозировка омега-3 жирных кислот была четко указана, а контроль качества обеспечивал возможность окончательных рекомендаций по применению конкретного продукта для конкретной цели.

Научно-медицинская проверка разрабатываемых пищевых продуктов, обогащенных омега-3 жирными кислотами за счет использования рыбных жиров, чрезвычайно медленная и трудоемкая. Маркировка таких продуктов должна содержать отличительные сведения о пищевой ценности и эффективности. Согласно Регламенту (ЕС) № 116/2010 от 9 февраля 2010 г. в отношении перечня заявлений о пищевой ценности для маркировки продукта как источника омега-3 жирных кислот сумма ЭПК и ДГК в продукте должна составлять не менее 40 мг на 100 г или на 100 ккал, а для маркировки как продукта с высоким содержанием омега-3 жирных кислот – не менее 80 мг на 100 г или на 100 ккал. В свою очередь, отечественные стандарты устанавливают требования не к отдельным жирным кислотам, а к сумме всех омега-3 жирных кислот. В соответствии с ГОСТ Р 55577-2013 «Продукты пищевые функциональные. Информация об отличительных признаках и эффективности» продукт, являющийся источником омега-3 жирных кислот должен содержать не менее 0,2 г суммы омега-3 жирных кислот на 100 г или на 100 см³ продукта, продукт с высоким содержанием омега-3 жирных кислот – не менее чем 0,4 г на 100 г или на 100 см³ продукта. Отсутствие такой информации, с помощью которой потребители могут судить об эффективности и безопасности продаваемых продуктов, ограничивает их применение в профилактике алиментарно-зависимых заболеваний.

Несмотря на добавленную пищевую ценность, колбасные изделия, обогащенные омега-3 жирными кислотами, пока остаются продуктом с высоким содержанием пищевой соли и консервантов (нитрит и нитрат натрия, калия, сорбиновая кислота и др.), что не нивелирует основные риски для здоровья и может вызывать недоверие со стороны потребителя. Вместе с тем добавление рыбного жира снижает стабильность омега-3 жирных кислот к окислению, что может приводить к ухудшению вкуса и аромата, а замена животного жира вызывает негативные изменения консистенции продукта.

При всех положительных эффектах применения рыбного жира отмечается, что он может проявлять

некоторые побочные эффекты при определенных условиях: его прием беременными женщинами ограничен из-за высокого содержания витамина А (опасен для плода в первом триместре) и риска наличия примесей ртути и диоксинов. Кроме того, результаты исследований показали, что высокие дозы могут вызывать повышенный риск ожирения у детей в будущем. В рыбном жире могут оставаться частицы рыбного белка – парвальбумина, вызывающие IgE-опосредованную аллергию.

Хотя употребление колбасных изделий с рыбным жиром может быть сопряжено с рядом ограничений, их обычно считают безопасными. На сегодняшний день нет значимой информации о проблемах безопасности и неблагоприятного воздействия в отношении рыбного жира на здоровых людей. Несмотря на то что некоторые преимущества для здоровья, включая снижение риска сердечно-сосудистых заболеваний, хорошо изучены и приняты, другие требуют дальнейшего изучения, в т. ч. потенциальное применение при болезни Альцгеймера [157]. Рыбный жир давно применяется в пищевых целях, и значимых проблем со здоровьем не отмечено – именно этот факт остается наиболее надежным критерием безопасности.

Направления будущих исследований. В настоящее время, говоря о колбасных изделиях, подразумевают высококалорийный мясной продукт, частое употребление которого связано с высоким риском возникновения заболеваний сердечно-сосудистой системы, а также нарушением обмена веществ вследствие высокого содержания в таких продуктах насыщенных жиров и холестерина. Вместе с тем по мере развития пищевых технологий и ростом потребительского спроса на сбалансированное питание следует прогнозировать разработку и внедрение усовершенствованных технологий обогащенных и функциональных мясных продуктов, которые обладают положительным влиянием на здоровье потребителей.

Рыбный жир является качественным источником омега-3 ПНЖК, которые выполняют множество полезных функций для организма человека. Частичная замена животных жиров на рыбный жир в колбасных изделиях целесообразна с точки зрения увеличения содержания ПНЖК и витаминов А, D, Е в рационе населения. При этом возникает вопрос сохранения данных веществ в готовом продукте, т. к. известно, что тепловая обработка разрушает отдельные витамины, усиливает окисление и гидролиз жира.

Основные направления применения рыбного жира в колбасных изделиях будут основываться на сохранении данных термолабильных веществ в технологическом процессе приготовления продукта путем совершенствования предложенных методов микрокапсулирования. Возможность достижения поставленной цели будет определять текущие виды использования и дополнительные применения. Создание устойчивых прямых эмульсий на основе рыбного

жира путем формирования комплексных коацерватов белок-полисахарид (*in situ* и *ex situ*) позволит эффективно стабилизировать системы с высокой концентрацией ПНЖК. Данный подход позволит решить ключевые проблемы современных технологий обогащения пищевых продуктов ПНЖК, такие как низкая стабильность, окисляемость жиров и ухудшение органолептических свойств продукта. Разработанные эмульсии обеспечат наличие высокой биодоступности и сохранности ПНЖК в процессе переработки и хранения конечного продукта, открывая новые возможности для промышленного производства обогащенных и функциональных колбасных изделий с улучшенными пищевыми свойствами и органолептическими характеристиками.

Несмотря на большое число публикаций, посвященных микрокапсулированию биоактивных ингредиентов, необходимо исследовать методы улучшения свойств смесей белков и полисахаридов и их взаимодействия для более надежной защиты активных ингредиентов и их отсроченного высвобождения в различных пищевых системах. Также стоит учитывать взаимодействие белка, используемого для комплексной коацервации, с активным веществом, и их влияние на конформацию биополимера и структурные функции. Важно изучить влияние комплексных коацерватов на функциональные и органолептические свойства колбасных изделий во время обработки и хранения.

Поскольку использование рыбного жира часто сопровождается изменением структуры и органолептических показателей продукта, требуется глубокое понимание химических процессов – взаимосвязей различных компонентов и их изменений в ходе технологической переработки. Представляется перспективным создание персонализированных колбасных изделий с рыбным жиром для разных возрастных групп – особенно для детей старше трех лет и пожилых людей – и оценка их влияния на нутритивный (пищевой) статус.

Обогащенные продукты, доступные на рынке, могут содержать различные функциональные пищевые ингредиенты. Поэтому их потребление и воздействие на здоровье следует оценивать как при раздельном применении, так и в сочетании. Органы здравоохранения совместно с производителями должны участвовать в разработке обогащенных пищевых продуктов. При этом необходимо разработать четко определенные процедуры исследований состава, чтобы потребители были уверены в повышенной пищевой ценности и эффективности таких продуктов.

Повышение уровня омега-3 жирных кислот в колбасных изделиях за счет введения рыбного жира для их дальнейшего использования диетотерапии требует активного участия не только производителей, но и врачей. При этом врачи все еще скептически относятся к обогащенным и функциональным продуктам питания как средству улучшения здоровья и снижения риска заболеваний.

Выводы

Рост алиментарно-зависимых заболеваний, обусловленный дисбалансом рациона, недостатком микронутриентов или хроническим перееданием, приводит к развитию сахарного диабета, ожирения, сердечно-сосудистых заболеваний и других патологий. Это указывает на необходимость совершенствования профилактических мероприятий. Поэтому эффективным подходом к профилактике метаболических заболеваний являются рациональное питание и создание обогащенных продуктов. Обогащение пищевых продуктов рыбным жиром позволяет получать продукты, снижающие риск сердечно-сосудистых заболеваний и вероятность возникновения онкологических, аутоиммунных и воспалительных процессов.

Анализ научных публикаций показал, что потребление традиционных колбас может быть связано с потенциальным риском для здоровья человека из-за высокого содержания в них насыщенных жирных кислот (НЖК) и холестерина, которые способствуют развитию сердечно-сосудистых заболеваний и ожирения. Рыбный жир обладает высоким потенциалом и может найти широкое применение в мясной промышленности в качестве функционального пищевого ингредиента. Повышения качества и пищевой ценности колбасных изделий путем введения в рецептуру рыбного жира – отдельно или в сочетании с растительными маслами, в различных формах и концентрациях – позволяет получить продукт с улучшенными пищевыми свойствами и оригинальными органолептическими характеристиками. Замена жира наземных животных на рыбный жир позволит уменьшить содержание насыщенного жира, повысить уровень полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК), улучшить качественный состав жирных кислот (ПНЖК:НЖК) и снизить содержание холестерина в колбасных изделиях.

В результате может быть решена проблема коррекции и улучшения липидного компонента колбас. Тем не менее для широкого применения данной технологии необходимы дополнительные исследования, направленные на разработку эффективных и доступных методов сохранения ценных веществ в готовом продукте. Прямое добавление рыбного жира, эмульгирование и микрокапсулирование являются наиболее распространенными методами, используемыми для обогащения пищевых продуктов рыбным жиром. Применение антиоксидантов и микрокапсулирования оказывает значительное влияние на защиту от окисления омега-3 жирных кислот в обогащенных продуктах, а также позволяет минимизировать негативное воздействие внешних факторов при хранении.

Таким образом, рассмотренные материалы однозначно свидетельствуют о перспективности и целесообразности замены части жиров наземных животных в рецептуре колбасных изделий на более ценные жиры рыб (возможно, в сочетании с растительными маслами). Чтобы улучшить липидный состав колбасных изделий

за счет использования рыбного жира и сохранить их традиционные характеристики, необходимо учитывать взаимодействие липидных компонентов и их влияние на продукт в целом. Липиды, выделенные из морских гидробионтов, по сравнению с жирами наземных животных обладают иными физико-химическими свойствами из-за чего необходимо создавать особые условия для переработки мясного сырья для достижения желаемых качественных характеристик готового продукта. Такая замена требует дополнительных действий по стабилизации вкусоароматических характеристик, а также консистенции готового продукта. Полученная продукция (при условии соблюдения рекомендаций по производству и сроков годности) может быть использована широкими слоями населения как замена традиционным колбасным изделиям в рационе, что позволит достичь ряда положительных эффектов для здоровья потребителей, в т. ч. снизить риск сердечно-сосудистых заболеваний и отрегулировать липидный обмен.

Критерии авторства

А. Ю. Глухарев – постановка научной гипотезы, формулировка цели, проведение литературного обзора и подготовка статьи, формулирование выводов. В. И. Волченко, В. А. Гроховский – осуществление общего руководства исследованием, редактирование статьи, формулировка выводов. Д. С. Колотова – редактирование статьи, формулировка выводов. Все авторы ознакомились и согласились с опубликованной версией рукописи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии потенциальных конфликтов интересов в отношении исследования, авторства и / или публикации данной статьи.

Благодарности

Выражаем благодарность всем исследователям, занимающимся по тематике использования жира из рыбного сырья в рецептуре колбасных изделий, материалы которых были использованы при написании работы.

Contribution

A.Yu. Glukharev defined the scientific hypothesis, stated the objectives, conducted the review, formulated the conclusions, and wrote the manuscript; V.I. Volchenko and V.A. Grokhovsky supervised the study, proofread the article, and formulated the conclusions. D.S. Kolotova proofread the article and formulated the conclusions. All the authors read and agreed to the published version of the manuscript.

Conflict of interest

The authors declared no potential conflict of interest regarding the research, authorship, and/or publication of this article.

Acknowledgments

The authors express their deepest gratitude to all the researchers cited in this article, who work on the use of fish oil in sausage formulations.

Список литературы / References

1. Campagnol PCB, Lorenzo JM, Dos Santos BA, Cichoski AJ. Recent advances in the development of healthier meat products. *Advances in Food and Nutrition Research*. 2022;102:123–179. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2022.04.009>
2. Jiménez-Colmenero F, Carballo J, Cofrades S. Healthier meat and meat products: Their role as functional foods. *Meat Science*. 2001;59(1):5–13. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(01\)00053-5](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(01)00053-5)
3. Брезе О., Мышалова О., Дорогайкина О., Киреев В. Проектирование новой мясной продукции высокого качества в соответствии с потребительскими предпочтениями. *Техника и технология пищевых производств*. 2014. № 4. С. 133–140 [Brese O, Myshalova O, Dorogaykina O, Kireev V. Development of new high quality meat products in accordance with consumer preferences. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2014;4:133–140. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/TGSLAF>
4. Macho-González A, Bastida S, Garcimartín A, López-Oliva ME, González P, *et al.* Functional meat products as oxidative stress modulators: A review. *Advances in Nutrition*. 2021;12(4):1514–1539. <https://doi.org/10.1093/advances/nmaa182>
5. Serikkyzy M, Kapysheva U, Kenenbay S. Development of functional meat products based on the food safety system. *Scientific Reports*. 2026;16:601. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-30088-0>
6. Arihara K, Ohata M. Functional meat products. In: Saarela M, editor. *Functional Foods*. Cambridge: Woodhead Publishing; 2011. p. 512–533. <https://doi.org/10.1533/9780857092557.3.512>
7. Коденцова В. М., Вржесинская О. А., Рисник Д. В., Никитюк Д. Б., Тутельян В. А. Обеспеченность населения России микронутриентами и возможности ее коррекции. Состояние проблемы. *Вопросы питания*. 2017. Т. 86. № 4. С. 113–124. [Kodentsova VM, Vrzhesinskaya OA, Risnik DV, Nikityuk DB, Tutelyan VA. Micronutrient status of population of the Russian Federation and possibility of its correction. State of the problem. *Problems of Nutrition*. 2017;86(4):113–124. (In Russ.)] <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2017-00067>
8. Коденцова В. М., Рисник Д. В. Микронутриентные метаболические сети и множественный дефицит микронутриентов: обоснование преимуществ витаминно-минеральных комплексов. *Микроэлементы в медицине*. 2020. Т. 21. № 4. С. 3–20. [Kodentsova VM, Risnik DV. Micronutrient metabolic networks and multiple micronutrient deficiency: A rationale for the advantages of vitamin-mineral supplements. *Microelements in Medicine*. 2020;21(4):3–20. (In Russ.)] <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2020-21-4-3-20>

9. Авдеева В. А., Суплотова Л. А., Пигарова Е. А., Рожинская Л. Я., Трошина Е. А. Дефицит витамина D в России: первые результаты регистрового неинтервенционного исследования частоты дефицита и недостаточности витамина D в различных географических регионах страны. Проблемы эндокринологии. 2021. Т. 67. № 2. С. 84–92. [Avdeeva VA, Suplotova LA, Pigarova EA, Rozhinskaya LY, Troshina EA. Vitamin D deficiency in Russia: The first results of a registered, non-interventional study of the frequency of vitamin D deficiency and insufficiency in various geographic regions of the country. Problems of Endocrinology. 2021;67(2):84–92. (In Russ.)] <https://doi.org/10.14341/probl12736>
10. Яшин А. Н., Петров А. Н. Актуальность разработки обогащенных микроэлементами продуктов питания для диетотерапии при сердечно-сосудистых заболеваниях. Пищевые системы. 2023. Т. 6. № 3. С. 272–278. [Yashin AN, Petrov AN. The relevance of the development of food products enriched with trace elements for diet therapy in cardiovascular diseases. Food systems. 2023;6(3):272–278. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-272-278>
11. Brown KH, Hess SY, Moore SE, Combs GF Jr, Cashman KD, et al. Neglected micronutrients-considering a broader set of vitamins and minerals in public health nutrition programs worldwide: A narrative review. The American Journal of Clinical Nutrition. 2025;122(3):680–694. <https://doi.org/10.1016/j.ajcnut.2025.06.030>
12. Olanbiwoninu A, Greppi A, Awotundun T, Adebayo EA, Spano G, et al. Microbial-based biofortification to mitigate African micronutrients deficiency: A focus on plant-based fermentation as source of B-group vitamins. Food Bioscience. 2023; 55:102996. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102996>
13. Mariamenatu AH, Abdu EM. Overconsumption of Omega-6 polyunsaturated fatty acids (PUFAs) versus deficiency of Omega-3 PUFAs in modern-day diets: The disturbing factor for their “balanced antagonistic metabolic functions” in the human body. Journal of Lipids. 2021;2021(1):8848161. <https://doi.org/10.1155/2021/8848161>
14. Быкова О. В., Климов Ю. А., Тихонов С. В., Дарьина С. В. Дефицит полиненасыщенных жирных кислот и детская психоневрологическая заболеваемость. Медицинский Совет. 2020. № 18. С. 173–178. [Bykova OV, Klimov YA, Tikhonov SV, Darina SS. Polyunsaturated fatty acid deficiency and pediatric neuropsychiatric morbidity. Medical Council. 2020;(18):173–178. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2020-18-173-178>
15. Хабиб М. Д., Тюнькова В. В., Теплякова М. Ю. Основные тенденции в потреблении мясной продукции населением Российской Федерации. Вестник университета. 2025. № 6. С. 175–186 [Khabib MD, Tyunkova VV, Teplyakova MYu. Main trends in meat products consumption by the population of the Russian Federation. Vestnik Universiteta. 2025;6:175–186. (In Russ.)] <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2025-6-175-186>
16. Федеральная служба государственной статистики. Потребление основных продуктов питания населением Российской Федерации. М.: Росстат, 2025. 14 с. [Federal state statistics service. Consumption of basic food products by the population of the Russian Federation. Moscow: Rosstat; 2025. 14 p. (In Russ.)]
17. Иванчиков А. О. Тенденции развития мирового рынка мясной продукции. Журнал монетарной экономики и менеджмента. 2024. № 12. С. 178–181. [Ivanchikov AO. Trends in the development of the global meat market. Journal of Monetary Economics and Management. 2024;12:178–181. (In Russ.)] <https://doi.org/10.26118/2782-4586.2024.81.63.172>
18. Гусаков Г. В., Жудро В. М., Шакель Т. П., Ёнчик Л. Т. Современные тенденции и перспективы развития рынка переработанной мясной продукции. Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья. 2021. № 16. С. 7–12. [Gusakov GV, Zhudro VM, Shakel TP, Yonchik LT. Current trends and prospects for the development of the processed meat products market. Topical Issues of Processing of Meat and Milk Raw Materials. 2021;16:7–12. (In Russ.)] <https://doi.org/10.47612/2220-8755-2021-16-7-12>
19. Шейхова М. С., Сафонова С. Г. Тенденции развития потребительских предпочтений на рынке мяса и мясных продуктов. Московский экономический журнал. 2024. № 10. С. 10–24. [Sheyhova MS, Safonova SG. Trends in the development of consumer preferences in the meat and meat products market. Moscow Economic Journal. 2024;10:10–24. (In Russ.)] https://doi.org/10.55186/2413046X_2024_9_10_394
20. Godfray H CJ, Aveyard P, Garnett T, Hall JW, Key TJ, et al. Meat consumption, health, and the environment. Science. 2018;361(6399):eaam5324. <https://doi.org/10.1126/science.aam5324>
21. Зимняков В. М. Анализ производства колбасных изделий в России. Инновационная техника и технология. 2024. Т. 11. № 4. С. 48–54. [Zimnyakov VM. Analysis of sausage production in Russia. Innovative Machinery and Technology. 2024;11(4):48–54. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/PNDBUJ>
22. World Health Organization. Saturated fatty acid and trans-fatty acid intake for adults and children. Geneva: WHO; 2023. 114 p. URL: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240073630>
23. Nuernberg K, Fischer K, Nuernberg G, Kuechenmeister U, Klosowska D, et al. Effects of dietary olive and linseed oil on lipid composition, meat quality, sensory characteristics and muscle structure in pigs. Meat Science. 2005;70(1):63–74. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.12.001>
24. Guo W, Wang H, Bai Y, Tan M. Global patent landscape of marine functional foods: Technological trends, hotspots, and future challenges. Trends in Food Science & Technology. 2026;169:105555. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2026.105555>
25. Das P, Dutta A, Panchali T, Khatun A, Kar R, et al. Advances in therapeutic applications of fish oil: A review. Measurement: Food. 2024;13:100142. <https://doi.org/10.1016/j.meafao.2024.100142>
26. Tortosa-Caparrós E, Navas-Carrillo D, Marín F, Orenes-Piñero E. Anti-inflammatory effects of omega 3 and omega 6 polyunsaturated fatty acids in cardiovascular disease and metabolic syndrome. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2017;57(16):3421–3429. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1126549>

27. Mazaherioun M, Saedisomeolia A, Javanbakht MH, Koohdani F, Zarei M, *et al.* Long chain n-3 fatty acids improve depression syndrome in type 2 diabetes mellitus. *Iranian Journal of Public Health*. 2018;47(4):575–583.
28. Petersson S, Philippou E, Rodomar C, Nikiphorou E. The Mediterranean diet, fish oil supplements and Rheumatoid arthritis outcomes: Evidence from clinical trials. *Autoimmunity Reviews*. 2018;17(11):1105–1114. <https://doi.org/10.1016/j.autrev.2018.06.007>
29. Garg ML, Wood LG, Singh H, Moughan PJ. Means of delivering recommended levels of long chain n-3 polyunsaturated fatty acids in human diets. *Journal of Food Science*. 2006;71(5):66–71. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00033.x>
30. Simopoulos AP. The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. *Biomedicine & Pharmacotherapy*. 2002;56(8):365–379. [https://doi.org/10.1016/S0753-3322\(02\)00253-6](https://doi.org/10.1016/S0753-3322(02)00253-6)
31. МР 2.3.1.0253-21. Гигиена. Гигиена питания. Рациональное питание. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; 2021. 72 с. [MR 2.3.1.0253-21. Hygiene. Food hygiene. Rational nutrition. Norms of physiological needs for energy and nutrients for various population groups in the Russian Federation. Moscow: Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; 2021. 72 p. (In Russ.)]
32. Попова А. Ю., Тутельян В. А., Никитюк Д. Б. О новых (2021) Нормах физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. *Вопросы питания*. 2021. Т 90. № 4. and nutrients of various groups of the population of the Russian Federation. *Problems of Nutrition*. 2021;90(4):6–19]. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-4-6-19>
33. Ушкалова В. Н. Стабильность липидов пищевых продуктов. М.: Агропромиздат, 1988. 152 с. [Ushkalova VN. Lipid stability of food products. Moscow: Agropromizdat; 1988. 152 p. (In Russ.)]
34. Snyder H. Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*. 2019;104:333–339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
35. Torraco RJ. Writing integrative reviews of the literature: Methods and purposes. *International Journal of Adult Vocational Education and Technology*. 2016;7(3):62–70. <https://doi.org/10.4018/IJAVET.2016070106>
36. Park J, Rhee KS, Keeton JT, Rhee KC. Properties of low-fat frankfurters containing monounsaturated and omega-3 polyunsaturated oils. *The Journal of Food Science*. 1989;54(3):500–504. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1989.tb04637.x>
37. Derkach S, Kravets P, Kuchina Y, Glukharev A, Tyukina O, *et al.* Mineral-free biomaterials from mussel (*Mytilus edulis* L.) shells: Their isolation and physicochemical properties. *Food Bioscience*. 2023;56:103188. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103188>
38. Глухарев А. Ю., Бордиян В. В., Кузина Т. Д., Кучина Ю. А., Деркач С. Р. Получение и использование белка из створок раковин мидий в сухом рыбном соусе. *Пищевые системы*. 2025. Т. 8. № 1. С. 134–143. [Glukharev AY, Bordiyan VV, Kuzina TD, Kuchina YuA, Derkach SR. Production and use of mussel shell protein in dry fish sauce. *Food systems*. 2025;8(1):134–143. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2025-8-1-134-143>
39. Wan M-C, Qin W, Lei C, Li Q-H, Meng M, *et al.* Biomaterials from the sea: Future building blocks for biomedical applications. *Bioactive Materials*. 2021;6(12):4255–4285. <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2021.04.028>
40. Liu Q-Y, Tan BKH. Dietary fish oil and vitamin E enhance doxorubicin effects in P388 tumor-bearing mice. *Lipids*. 2002;37(6):549–556. <https://doi.org/10.1007/s11745-002-0931-1>
41. Ghafoorunissa, Vani A, Laxmi R, Sesikeran B. Effects of dietary alpha-linolenic acid from blended oils on biochemical indices of coronary heart disease in Indians. *Lipids*. 2002;37(11):1077–1086. <https://doi.org/10.1007/s11745-002-1003-2>
42. Chapkin RS, Hong MY, Fan Y-Y, Davidson LA, Sanders LM, *et al.* Dietary n–3 PUFA alter colonocyte mitochondrial membrane composition and function. *Lipids*. 2002;37(2):193–199. <https://doi.org/10.1007/s11745-002-0880-8>
43. Ellulu MS, Khaza’ai H, Abed Y, Rahmat A, Ismail P, *et al.* Role of fish oil in human health and possible mechanism to reduce the inflammation. *Inflammopharmacology*. 2015;23(2–3):79–89. <https://doi.org/10.1007/s10787-015-0228-1>
44. Боева Н. П., Бредихина О. В., Петрова М. С., Баскакова Ю. А. Технология жиров из водных биологических ресурсов. М.: ВНИРО, 2016. 107 с. [Boeva NP, Bredikhina OV, Petrova MS, Baskakova YuA. Technology of fats from aquatic biological resources. Moscow: VNIRO; 2016. 107 p. (In Russ.)]
45. Шульгина Л. В., Павел К. Г., Солодова Е. А., Якуш Е. В. Пищевая и биологическая ценность пащтетных консервов из дальневосточной сардины *Sardinops melanostictus*. *Известия ТИНРО*. 2022. Т. 202. № 4. С. 957–969. [Shulgina LV, Pavel KG, Solodova EA, Yakush EV. Nutritional and biological value of canned pate from Japanese sardine *Sardinops melanostictus*. *Proceedings of TINRO*. 2022;202(4):957–969. (In Russ.)] <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2022-202-957-969>
46. Шульгина Л. В., Давлетшина Т. А., Павловский А. М., Солодова Е. А., Павел К. Г., и др. Консервы из сайры тихоокеанской – источник полиненасыщенных жирных кислот семейства омега-3. *Известия ТИНРО*. 2017. № 191. С. 235–242. [Shulgina LV, Davletshina TA, Pavlovsky AM, Solodova EA, Pavel’ KG, Yakush EV. Canned goods from pacific saury – a source of polyunsaturated fatty acids of the omega-3 family. *Proceedings of TINRO*. 2017;191(4):235–242. (In Russ.)] <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2017-191-235-242>
47. Куприна Е. Э., Гришина Е. С., Яркола А. Н., Мануйлов А. Н., Демидов П. И., Ивненко Ю. Г. Разработка технологии получения эссенциальных жирных кислот из гидролизатов рыб повышенной жирности. *Вестник Российской*

- военно-медицинской академии. 2021. Т. 23. № 2. С. 119–130. [Kuprina EE, Grishina ES, Yakkola AN, Manuilov AN, Demidov PI, Ivnenko YG. Development of technology for producing essential fatty acids from hydrolysates of high-fat fish. Bulletin of the Russian Military Medical Academy. 2021;23(2):119–130. (In Russ.)] <https://doi.org/10.17816/brmma58206>
48. Шульгина Л. В., Якуш Е. В., Давлетшина Т. А., Павловский А. М., Павел К. Г. и др. Полиненасыщенные жирные кислоты семейства омега-3 в продукции из дальневосточных рыб. Здоровье. Медицинская экология. Наука. 2017. № 5. С. 42–45. [Shulgina LV, Yakush EV, Davletshina TA, Pavlovskiy AM, Pavel' KG, et al. Polyunsaturated fatty acids of omega-3 in foods from far eastern fish. Health. Medical Ecology. Science. 2017;(5):42–45. (In Russ.)] <https://doi.org/10.5281/zenodo.1115456>
49. Weichselbaum E, Coe S, Buttriss J, Stanner S. Fish in the diet: A review. Nutrition Bulletin. 2013;38(2):128–177. <https://doi.org/10.1111/nbu.12021>
50. Raatz S, Bibus D. Fish and fish oil in health and disease prevention. San Diego: Academic Press; 2016. 380 p.
51. Harlina PW, Nasution AY, Musfiroh I, Muchtaridi M, Geng F, et al. A sustainable source of freshwater fish oil: Nutritional and functional insights through lipidomics and metabolomics. LWT – Food Science and Technology. 2026;241:119046. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2026.119046>
52. Rodrigues M, Rosa A, Almeida A, Martins R, Ribeiro TÂ, et al. Omega-3 fatty acids from fish by-products: Innovative extraction and application in food and feed. Food and Bioproducts Processing. 2024;145:32–41. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2024.02.007>
53. Korma SA, Rehman A, Hussain A, Kauser S, Firdous N, et al. Valorization of fish oil from processing by-products: Composition, nutritional value, and potential applications. Applied Food Research. 2025;5(2):101552. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.101552>
54. Нугманов А. Х.-Х., Золотовская О. В., Алексанян И. Ю., Пащенко К. П., Котельников А. В. Экспериментальное определение количества рыбьего жира в отходах толстолобика. Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2023. № 2. С. 140–146. [Nugmanov AH-Kh, Zolotovskaya OV, Aleksanyan IYu, Pashchenko KP, Kotelnikov AV. Experimental determination of the amount of fish oil in carp waste. Technologies of the food and processing industry of AIC – Healthy Food. 2023;(2):140–146. (In Russ.)] <https://doi.org/10.24412/2311-6447-2023-2-140-146>
55. Мукатова М. Д., Киричко Н. А., Моисеенко М. С., Сколков С. А. Разработка технологии получения жира из жиродержащих отходов переработки промысловых рыб Волжско-Каспийского бассейна. Известия ТИПРО. 2018. № 193. С. 211–222. [Mukatova MD, Kirichko NA, Moiseenko MS, Skolkov SA. Development of technology for oil extraction from fat-containing wastes of fish processing in the Volga-Caspian Basin. Proceedings of TINRO. 2018;(193):211–222. (In Russ.)] <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2018-193-211-222>
56. Артемова А. Г. Технология получения жира пищевого из голов лососевых рыб ферментативным способом. Вестник биотехнологии и физико-химической биологии им. Ю. А. Овчинникова. 2013. Т. 9. № 2. С. 9–16. [Artemova AG. Technology for enzymatically producing edible fat from the heads of salmon. Yu.A. Ovchinnikov bulletin of biotechnology and physical and chemical biology. 2013;9(2):9–16. (In Russ.)]
57. Захаренко А. М., Кириченко К. Ю., Вахнюк И. А., Голохваст К. С. Применение технологии сверхкритической экстракции для получения полиненасыщенных кислот из морской звезды (*Lysastrosoma anthosticta* Fisher, 1922). Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 51. № 4. С. 753–758. [Zakharenko A, Kirichenko K, Vakhniuk I, Golokhvast K. Supercritical extraction technology of obtaining polyunsaturated acids from starfish (*Lysastrosoma anthosticta* Fisher, 1922). Food Processing: Techniques and Technology. 2022;51(4):753–758. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-4-753-758>
58. Ivanovs K, Blumberga D. Extraction of fish oil using green extraction methods: a short review. Energy Procedia. 2017;128:477–483. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.033>
59. Ozogul Y, Ucar Y, Takadaş F, Durmus M, Köşker AR, et al. Comparison of green and conventional extraction methods on lipid yield and fatty acid profiles of fish species. European Journal of Lipid Science and Technology. 2018;120(12):1800107. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201800107>
60. Сафронова Т. М., Дацун В. М., Максимова С. Н. Сырье и материалы рыбной промышленности. Санкт-Петербург: Лань, 2022. 336 с. [Safronova TM, Datsun VM, Maksimova SN. Raw materials and materials of the fish industry. Saint Petersburg: Lan; 2022. 336 p. (In Russ.)]
61. Константинова Л. Л., Двинин Ю. Ф., Лебская Т. К., Кузьмина В. И. Технохимические свойства промысловых рыб Северной Атлантики и прилегающих морей Северного Ледовитого океана. Мурманск: ПИНРО, 1997. 183 с. [Konstantinova LL, Dvinin YuF, Lebskaya TK, Kuzmina VI. Technological and chemical properties of commercial fish from the North Atlantic and adjacent seas of the Arctic Ocean. Murmansk: PINRO; 1997. 183 p. (In Russ.)]
62. Шульгина Л. В., Давлетшина Т. А., Павловский А. М., Солодова Е. А., Павел К. Г. Состав липидов и жирных кислот в мышечной ткани японской скумбрии *Scomber japonicus*. Известия ТИПРО. 2019. № 196. С. 193–203. [Shulgina L.V., Davletshina T.A., Pavlovsky A.M., Solodova E.A., Pavel K.G. Composition of lipids and fatty acids in muscle tissue of chub mackerel *Scomber japonicus*. Proceedings of TINRO. 2019;(196):193–203. (In Russ.)] <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2019-196-193-203>

63. Громыко М. А., Шульгина Л. В. Печень кеты в технологии консервов для диетического профилактического питания. Национальная ассоциация ученых. 2017. №7. С. 17–20. [Gromyko MA, Shulgina L. V. Chum salmon liver in the technology of canned products for dietary preventive nutrition. National Association of Scientists. 2017;(7):17–20. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/YNPACA>
64. Ржавская Ф. М. Жиры рыб и морских млекопитающих. М.: Пищевая промышленность, 1976. 470 с. [Rzhavskaya FM. Fats of fish and marine mammals. Moscow: Food Industry; 1976. 470 p. (In Russ.)]
65. Iverson JL. Fatty acid composition of cod liver oil determined by urea fractionation and modified programmed temperature gas chromatography. *Journal of Association of Official Analytical Chemists*. 1970;53(5):1074–1079. <https://doi.org/10.1093/jaoac/53.5.1074>
66. Гроховский В. А., Волченко В. И., Глухарев А. Ю., Несвященко С. С. Новое в технологии пищевой продукции с использованием печеночного сырья из водных биоресурсов. Мурманск: МГТУ, 2021. 92 с. [Grokhovsky V. A., Volchenko V. I., Glukharev A. Yu., Nesvyashchenko S. S. New developments in food technology using liver raw materials from aquatic biological resources. Murmansk: Murmansk State Technical University; 2021. 92 p. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/BLUDAE>
67. Park Y, Harris W. EPA, but not DHA, decreases mean platelet volume in normal subjects. *Lipids*. 2002;37(10):941–946. <http://doi.org/10.1007/s11745-006-0984-1>
68. Schunck W-H, Konkel A, Fischer R, Weylandt K-H. Therapeutic potential of omega-3 fatty acid-derived epoxyeicosanoids in cardiovascular and inflammatory diseases. *Pharmacology & Therapeutics*. 2018;183:177–204. <https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2017.10.016>
69. Sinclair AJ, Attar-Bashi NM, Li D. What is the role of alpha-linolenic acid for mammals? *Lipids*. 2002;37(12):1113–1123. <https://doi.org/10.1007/s11745-002-1008-x>
70. Marventano S, Kolacz P, Castellano S, Galvano F, Buscemi S, Mistretta A, et al. A review of recent evidence in human studies of n-3 and n-6 PUFA intake on cardiovascular disease, cancer, and depressive disorders: does the ratio really matter? *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 2015;66(6):611–622. <https://doi.org/10.3109/09637486.2015.1077790>
71. Peter S, Chopra S, Jacob JJ. A fish a day, keeps the cardiologist away! – A review of the effect of omega-3 fatty acids in the cardiovascular system. *Indian Journal of Endocrinology and Metabolism*. 2013;17(3):422–429. <https://doi.org/10.4103/2230-8210.111630>
72. von Schacky C. The role of omega-3 fatty acids in cardiovascular disease. *Current Atherosclerosis Reports*. 2003;5(2):139–145. <https://doi.org/10.1007/s11883-003-0086-y>
73. Andriambelo B, Stiffel M, Roke K, Plourde M. New perspectives on randomized controlled trials with omega-3 fatty acid supplements and cognition: A scoping review. *Ageing Research Reviews*. 2023;85:101835. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2022.101835>
74. Wesołowska W, Bachoń E, Doligalska M, Stremel A, Leszyńska A, et al. Omega-3 fatty acids: Key players in cognitive function and brain health. *Journal of Education, Health and Sport*. 2025;77:56776. <https://doi.org/10.12775/JEHS.2025.77.56776>
75. Chitre NM, Moniri NH, Murnane KS. Omega-3 fatty acids as druggable therapeutics for neurodegenerative disorders. *CNS & Neurological Disorders – Drug Targets*. 2019;18(10):735–749. <https://doi.org/10.2174/1871527318666191114093749>
76. Kolanowski W, Laufenberg G. Enrichment of food products with polyunsaturated fatty acids by fish oil addition. *European Food Research and Technology*. 2006;222(3):472–477. <https://doi.org/10.1007/s00217-005-0089-8>
77. Smith WL, Murphy RC. The eicosanoids: Cyclooxygenase, lipoxygenase and epoxygenase pathways. In: Ridgway ND, McLeod RS, editors. *Biochemistry of lipids, lipoproteins and membranes*. Netherlands: Elsevier; 2016. p. 259–296. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63438-2.00009-2>
78. Alvarez M de L, Lorenzetti F. Role of eicosanoids in liver repair, regeneration and cancer. *Biochemical Pharmacology*. 2021;192:114732. <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2021.114732>
79. Каратеев А. Е., Алейникова Т. Л. Эйкозаноиды и воспаление. Современная ревматология. 2016. Т. 10. № 4. С. 73–86. [Karateev AE, Aleinikova TL. Eicosanoids and inflammation. *Modern Rheumatology Journal*. 2016;10(4):73–86. (In Russ.)] <https://doi.org/10.14412/1996-7012-2016-4-73-86>
80. Civelek E, Ozen G. The biological actions of prostanoids in adipose tissue in physiological and pathophysiological conditions. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*. 2022;186:102508. <https://doi.org/10.1016/j.plefa.2022.102508>
81. Kaul N, Kreml R, Austria JA, Richard MN, Edel AL, et al. A comparison of fish oil, flaxseed oil and hempseed oil supplementation on selected parameters of cardiovascular health in healthy volunteers. *Journal of the American College of Nutrition*. 2008;27(1):51–58. <https://doi.org/10.1080/07315724.2008.10719674>
82. Harris WS, Pottala JV, Sands SA, Jones PG. Comparison of the effects of fish and fish-oil capsules on the n-3 fatty acid content of blood cells and plasma phospholipids. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2007;86(6):1621–1625. <https://doi.org/10.1093/ajcn/86.5.1621>
83. DeFina LF, Marcoux LG, Devers SM, Cleaver JP, Willis BL. Effects of omega-3 supplementation in combination with diet and exercise on weight loss and body composition. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2011;93(2):455–462. <https://doi.org/10.3945/ajcn.110.002741>

84. Salman HB, Salman MA, Yildiz Akal E. The effect of omega-3 fatty acid supplementation on weight loss and cognitive function in overweight or obese individuals on weight-loss diet. *Nutrición Hospitalaria*. 2022;39(4):803–813. <https://doi.org/10.20960/nh.03992>
85. Azhar W, Qadhi A, Abusudah W, Ghabashi M, Aljaadi AM, et al. The effects of omega-3 supplementation on stress, anxiety, depression, sleep quality, and everyday memory in individuals with psychological distress: A randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Journal of Affective Disorders*. 2026;399:121055. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2025.121055>
86. Yari MG, Ghasemi-Tehrani H, Feizi A, Ziaei R, Derakhshan M, et al. Effect of a pro-fertility diet combined with omega-3 supplementation on embryo quality in infertile women undergoing *in vitro* fertilization: Randomized controlled trial. *Reproductive BioMedicine Online*. 2026;105661. <https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2026.105661>
87. Olsen SF, Secher NJ. Low consumption of seafood in early pregnancy as a risk factor for preterm delivery: Prospective cohort study. *The BMJ*. 2002;324(7335):447. <https://doi.org/10.1136/bmj.324.7335.447>
88. Тутельян В. А., Никитюк Д. Б. Эпидемиология питания: Россия 2018–2023. М.: ДеЛи, 2024. 270 с. [Tutelyan VA, Nikityuk DB. Nutrition epidemiology: Russia 2018–2023. Moscow: DeLi; 2024. 270 p. (In Russ.)]
89. Petracci M, Bianchi M, Cavani C. Development of rabbit meat products fortified with n-3 polyunsaturated fatty acids. *Nutrients*. 2009;1(2):111–118. <https://doi.org/10.3390/nu1020111>
90. World Health Organization. Diet, nutrition, and the prevention of chronic diseases. Geneva, WHO; 2003. 149 p.
91. Kris-Etherton PM, Harris WS, Appel LJ, American Heart Association. Nutrition Committee. Fish consumption, fish oil, omega-3 fatty acids, and cardiovascular disease. *Circulation*. 2002;106(21):2747–2757. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000038493.65177.94>
92. Бирюкова Т. В., Чутчева Ю. В., Ашмарина Т. И., Ягудаева Н. А. Тенденции развития производства и потребления мяса и мясной продукции в современных условиях. *Известия Международной академии аграрного образования*. 2022. № 63. С. 73–78. [Biryukova TV, Chutcheva YuV, Ashmarina TI, Yagudaeva NA. Trends in the development of production and consumption of meat and meat products in modern conditions. *International Journal of Agrarian Science and Education*. 2022;63:73–78. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/SHVOLL>
93. Wood JD, Richardson RI, Nute GR, Fisher AV, Campo MM, et al. Effects of fatty acids on meat quality: A review. *Meat Science*. 2004;66(1):21–32. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(03\)00022-6](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(03)00022-6)
94. López-Pedrouso M, Lorenzo JM, Gullón B, Campagnol PCB, Franco D. Novel strategy for developing healthy meat products replacing saturated fat with oleogels. *Current Opinion in Food Science*. 2021;40:40–45. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.06.003>
95. Scollan ND, Price EM, Morgan SA, Huws SA, Shingfield KJ. Can we improve the nutritional quality of meat? *Proceedings of the Nutrition Society*. 2017;76(4):603–618. <https://doi.org/10.1017/S0029665117001112>
96. Araujo de Vizcarrondo C, Carrillo de Padilla F, Martín E. Fatty acid composition of beef, pork, and poultry fresh cuts, and some of their processed products. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 1998;48(4):354–358.
97. Josquin NM, Linssen JPH, Houben JH. Quality characteristics of Dutch-style fermented sausages manufactured with partial replacement of pork back-fat with pure, pre-emulsified or encapsulated fish oil. *Meat Science*. 2012;90(1):81–86. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.06.001>
98. Jiménez-Colmenero F, Triki M, Herrero AM, Rodríguez-Salas L, Ruiz-Capillas C. Healthy oil combination stabilized in a konjac matrix as pork fat replacement in low-fat, PUFA-enriched, dry fermented sausages. *LWT – Food Science and Technology*. 2013;51(1):158–163. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.10.016>
99. Lorenzo JM, Munekata PES, Pateiro M, Campagnol PCB, Domínguez R. Healthy Spanish *salchichón* enriched with encapsulated n-3 long chain fatty acids in konjac glucomannan matrix. *Food Research International*. 2016;89(1):289–295. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.08.012>
100. Cáceres E, García ML, Selgas MD. Effect of pre-emulsified fish oil – as source of PUFA n-3 – on microstructure and sensory properties of *mortadella*, a Spanish bologna-type sausage. *Meat Science*. 2008;80(2):183–193. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.11.018>
101. Damerau A, Ogródowska D, Banaszczyk P, Dajnowiec F, Tańska M, et al. Baltic herring (*Clupea harengus membras*) oil encapsulation by spray drying using a rice and whey protein blend as a coating material. *Journal of Food Engineering*. 2022;314:110769. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110769>
102. Sahena F, Zaidul ISM, Jinap S, Yazid AM, Khatib A, et al. Fatty acid compositions of fish oil extracted from different parts of Indian mackerel (*Rastrelliger kanagurta*) using various techniques of supercritical CO₂-extraction. *Food Chemistry*. 2010;120(3):879–885. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.10.055>
103. Lei Q, Ba S, Zhang H, Wei Y, Lee JY, et al. Enrichment of omega-3 fatty acids in cod liver oil via alternate solvent winterization and enzymatic interesterification. *Food Chemistry*. 2016;199:364–371. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.005>
104. Morales-Medina R, De León G, Munio M, Guadix A, Guadix E. Mass transfer modeling of sardine oil polyunsaturated fatty acid (PUFA) concentration by low temperature crystallization. *Journal of Food Engineering*. 2016;183:16–23. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.03.009>

105. Jacobsen C, Warncke SA, Hansen SH, Sørensen A-DM. Fish liver discards as a source of long-chain omega-3 polyunsaturated fatty acids. *Foods*. 2022;11(7):905. <https://doi.org/10.3390/foods11070905>
106. Clonan A, Roberts KE, Holdsworth M. Socioeconomic and demographic drivers of red and processed meat consumption: Implications for health and environmental sustainability. *Proceedings of the Nutrition Society*. 2016;75(3):367–373. <https://doi.org/10.1017/S0029665116000100>
107. Bryhni EA, Kjos NP, Ofstad R, Hunt M. Polyunsaturated fat and fish oil in diets for growing-finishing pigs: Effects on fatty acid composition and meat, fat, and sausage quality. *Meat Science*. 2002;62(1):1–8. [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(01\)00211-x](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(01)00211-x)
108. Bourre JM. Where to find omega-3 fatty acids and how feeding animals with diet enriched in omega-3 fatty acids to increase nutritional value of derived products for human: What is actually useful? *The Journal of Nutrition, Health and Aging*. 2005;9(4):232–242.
109. Jiménez-Colmenero F. Healthier lipid formulation approaches in meat-based functional foods. Technological options for replacement of meat fats by non-meat fats. *Trends in Food Science & Technology*. 2007;18(11):567–578. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2007.05.006>
110. Delgado-Pando G, Cofrades S, Ruiz-Capillas C, Jiménez-Colmenero F. Healthier lipid combination as functional ingredient influencing sensory and technological properties of low-fat frankfurters. *European Journal of Lipid Science & Technology*. 2010;112(8):859–870. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201000076>
111. Lonergan SM, Topel DG, Marple DN. Sausage processing and production. The science of animal growth and meat technology. Netherlands: Elsevier; 2019. p. 229–253. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815277-5.00014-7>
112. Bou R, Cofrades S, Jiménez-Colmenero F. Fermented meat sausages. In: Frias J, Martinez-Villaluenga C, Peñas E, editors. *Fermented foods in health and disease prevention*. Netherlands: Elsevier; 2017. p. 203–235. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802309-9.00010-8>
113. Solomando JC, Antequera T, Perez-Palacios T. Evaluating the use of fish oil microcapsules as omega-3 vehicle in cooked and dry-cured sausages as affected by their processing, storage and cooking. *Meat Science*. 2020;162:108031. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.108031>
114. Solomando JC, Antequera T, Martín A, Perez-Palacios T. Effect of omega-3 microcapsules addition on the profile of volatile compounds in enriched dry-cured and cooked sausages. *Foods*. 2020;9(11):1683. <https://doi.org/10.3390/foods9111683>
115. Valencia I, Ansorena D, Astiasarán I. Nutritional and sensory properties of dry fermented sausages enriched with n-3 PUFAs. *Meat Science*. 2006;72(4):727–733. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.09.022>
116. Pelser WM, Linssen JPH, Legger A, Houben JH. Lipid oxidation in n-3 fatty acid enriched Dutch style fermented sausages. *Meat Science*. 2007;75(1):1–11. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.06.007>
117. Muguerza E, Ansorena D, Astiasaran I. Functional dry fermented sausages manufactured with high levels of n-3 fatty acids: Nutritional benefits and evaluation of oxidation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2004;84(9):1061–1068. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1786>
118. Marchetti L, Andrés SC, Califano AN. Low-fat meat sausages with fish oil: Optimization of milk proteins and carrageenan contents using response surface methodology. *Meat Science*. 2014;96(3):1297–1303. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.11.004>
119. Delgado-Pando G, Cofrades S, Ruiz-Capillas C, Solas MT, Triki M, *et al.* Low-fat frankfurters formulated with a healthier lipid combination as functional ingredient: microstructure, lipid oxidation, nitrite content, microbiological changes and biogenic amine formation. *Meat Science*. 2011;89(1):65–71. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.03.022>
120. Волченко В. И., Ирлица Е. Л., Глухарев А. Ю. Разработка нового вида вареных колбасных изделий с добавлением рыбного сырья. *Вестник МГТУ*. 2017. Т. 20. № 3. С. 572–581. [Volchenko VI, Irlitsa EL, Glukharev AYU. Development of a new type of boiled sausage products with the addition of fish raw material. *Bulletin of MSTU*. 2017;20(3):572–581. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2017-20-3-572-581>
121. Волченко В. И., Дворянкина К. В. Изучение возможности использования свиного сердца при изготовлении колбасных изделий. *Вестник Международной академии холода*. 2019. № 1. С. 77–83. [Volchenko VI, Dvoryankina KV. The possibility of using pork heart in the manufacture of sausages. *Bulletin of the International Academy of Refrigeration*. 2019;(1):77–83. (In Russ.)] <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2019-18-1-77-83>
122. Цикин С. С. *Технология продуктов из нетрадиционного мясного сырья*. М.: Юрайт, 2021. 149 с. [Tsikin SS. *Technology of Products Made from Non-Traditional Meat Raw Materials*. Moscow: Yurayt; 2021. 149 p. (In Russ.)]
123. Волченко В. И., Глухарев А. Ю. Оптимизация рецептурного состава нового вида вареных колбасных изделий с добавлением рыбного сырья. *Научные труды Дальрыбвтуза*. 2017. Т. 43. № 4. С. 48–61. [Volchenko VI, Glukharev AYU. Optimization of the recipe composition of a new kind of baked sausage product with addition of fish raw materials. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2017;43(4):48–61. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/YQLEHM>
124. Marchetti L, Argel N, Andrés SC, Califano AN. Sodium-reduced lean sausages with fish oil optimized by a mixture design approach. *Meat Science*. 2015;104:67–77. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.02.005>
125. Solomando JC, Antequera T, Perez-Palacios T. Lipid digestion products in meat derivatives enriched with fish oil microcapsules. *Journal of Functional Foods*. 2020;68:103916. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103916>

126. Sampels S, Zajic T, Mraz J. Increasing the omega-3 content of traditional meat products by the addition of an underutilised by-product from fish processing. *Czech Journal of Food Sciences*. 2015;33(5):431–440. <http://doi.org/10.17221/35/2015-CJFS>
127. Salminen H, Herrmann K, Weiss J. Oil-in-water emulsions as a delivery system for n-3 fatty acids in meat products. *Meat Science*. 2013;93(3):659–667. <https://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.11.035>
128. O'Brien RD. *Fats and oils: Formulating and processing for applications*. Boca Raton: CRC Press; 2003. 616 p.
129. Solomando JC, Antequera T, Martín A, Perez-Palacios T. Fish oil microcapsules as omega-3 enrichment strategy: Changes in volatile compounds of meat products during storage and cooking. *Foods*. 2021;10(4):745. <https://doi.org/10.3390/foods10040745>
130. Raeisi S, Ojagh SM, Pourashouri P, Salaün F, Quek SY. Shelf-life and quality of chicken nuggets fortified with encapsulated fish oil and garlic essential oil during refrigerated storage. *Journal of Food Science and Technology*. 2021;58(1):121–128. <http://doi.org/10.1007/s13197-020-04521-3>
131. Domínguez R, Pateiro M, Sichert Munekata PE, Bastianello Campagnol PC, Lorenzo JM. Influence of partial pork backfat replacement by fish oil on nutritional and technological properties of liver pâté. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 2017;119:1600178. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201600178>
132. Kawecki K, Stangierski J, Konieczny P. An analysis of oxidative changes and the fatty acid profile in stored poultry sausages with liquid and microencapsulated fish oil additives. *Molecules*. 2021;26(14):4293. <https://doi.org/10.3390/molecules26144293>
133. Lee S, Faustman C, Djordjevic D, Faraji H, Decker EA. Effect of antioxidants on stabilization of meat products fortified with n-3 fatty acids. *Meat Science*. 2006;72(1):18–24. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.05.022>
134. Miyashita K, Uemura M, Hosokawa M. Effective prevention of oxidative deterioration of fish oil: Focus on flavor deterioration. *Annual Review of Food Science and Technology*. 2018;9(1):209–226. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030117-012320>
135. Drusch S, Groß N, Schwarz K. Efficient stabilization of bulk fish oil rich in long-chain polyunsaturated fatty acids. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 2008;110(4):351–359. <https://doi.org/10.1002/ejlt.200700195>
136. Гуринович Г. В., Патракова И. С., Кудряшов Л. С. Исследование влияния состава посолочных смесей на процесс окисления липидов мясных систем. *Техника и технология пищевых производств*. 2018. № 1. С. 31–40. [Gurinovich GV, Patrakova IS, Kudryashov LS. Study of the effect of curing mixture compositions on oxidation of lipids in meat systems. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2018;(1):31–40. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-1-31-40>
137. Delgado-Pando G, Cofrades S, Ruiz-Capillas C, Teresa Solas M, Jiménez-Colmenero F. Healthier lipid combination oil-in-water emulsions prepared with various protein systems: An approach for development of functional meat products. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 2010;112(7):791–801. <https://doi.org/10.1002/ejlt.200900234>
138. Holt C, Roginski H. Milk proteins: Biological and food aspects of structure and function. In: Sikorski ZE, editor. *Chemical and functional properties of food proteins*. Boca Raton: CRC Press; 2001. p. 271–334. <https://elibrary.ru/RHEAYV>
139. Peng J, Zhang W, Zi Y, Shi C, Kan G, et al. Fish oil encapsulation by genipin-crosslinked complex coacervation between gelatin and different anionic polysaccharides. *Food Hydrocolloids*. 2024;152:109945. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.109945>
140. Delgado-Pando G, Cofrades S, Rodríguez-Salas L, Jiménez-Colmenero F. A healthier oil combination and konjac gel as functional ingredients in low-fat pork liver pâté. *Meat Science*. 2011;88(2):241–248. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.12.028>
141. Domínguez R, Pateiro M, Agregán R, Lorenzo JM. Effect of the partial replacement of pork backfat by microencapsulated fish oil or mixed fish and olive oil on the quality of frankfurter type sausage. *Journal of Food Science and Technology*. 2017;54(1):26–37. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2405-7>
142. Timilsena YP, Wang B, Adhikari R, Adhikari B. Advances in microencapsulation of polyunsaturated fatty acids (PUFAs)-rich plant oils using complex coacervation: A review. *Food Hydrocolloids*. 2017;69:369–381. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.03.007>
143. Wang B, Vongsivut J, Adhikari B, Barrow CJ. Microencapsulation of tuna oil fortified with the multiple lipophilic ingredients vitamins A, D3, E, K2, curcumin and coenzyme Q10. *Journal of Functional Foods*. 2015;19:893–901. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.03.027>
144. Beindorff CM, Zuidam NJ. Microencapsulation of fish oil. In: Zuidam NJ, Nedovic V, editors. *Encapsulation technologies for active food ingredients and food processing*. New York: Springer; 2009. p. 161–185. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1008-0_6
145. Barrow CJ, Nolan C, Jin Y. Stabilization of highly unsaturated fatty acids and delivery into foods. *Lipid Technology*. 2007;19(5):108–111. <https://doi.org/10.1002/lite.200600037>
146. Zhang W, Yan C, May J, Barrow CJ. Whey protein and gum arabic encapsulated omega-3 lipids: The effect of material properties on coacervation. *Agro FOOD Industry Hi Tech*. 2009;20(4):18–21.
147. Xia Q, Wang B, Akanbi TO, Li R, Yang W, et al. Microencapsulation of lipase produced omega-3 concentrates resulted in complex coacervates with unexpectedly high oxidative stability. *Journal of Functional Foods*. 2017;35:499–506. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.06.017>

148. Muhoza B, Xia S, Wang X, Zhang X, Li Y, *et al.* Microencapsulation of essential oils by complex coacervation method: Preparation, thermal stability, release properties and applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2022;62(5):1363–1382. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1843132>
149. Elzoghby AO. Gelatin-based nanoparticles as drug and gene delivery systems: Reviewing three decades of research. *Journal of Controlled Release*. 2013;172(3):1075–1091. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2013.09.019>
150. Heckert Bastos LP, Vicente J, Corrêa dos Santos CH, Geraldo de Carvalho M, Garcia-Rojas EE. Encapsulation of black pepper (*Piper nigrum* L.) essential oil with gelatin and sodium alginate by complex coacervation. *Food Hydrocolloids*. 2020;102:105605. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105605>
151. Muhoza B, Xia S, Cai J, Zhang X, Duhoranimana E, *et al.* Gelatin and pectin complex coacervates as carriers for cinnamaldehyde: Effect of pectin esterification degree on coacervate formation, and enhanced thermal stability. *Food Hydrocolloids*. 2019;87:712–722. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.08.051>
152. Muhoza B, Xia S, Zhang X. Gelatin and high methyl pectin coacervates crosslinked with tannic acid: The characterization, rheological properties, and application for peppermint oil microencapsulation. *Food Hydrocolloids*. 2019;97:105174. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105174>
153. Carlos Solomando J, Vázquez F, Antequera T, Folgado C, Perez-Palacios T. Addition of fish oil microcapsules to meat products – implications for omega-3 enrichment and salt reduction. *Journal of Functional Foods*. 2023;105:105575. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2023.105575>
154. Jiménez-Martín E, Antequera Rojas T, Gharsallaoui A, Ruiz Carrascal J, Pérez-Palacios T. Fatty acid composition in double and multilayered microcapsules of ω -3 as affected by storage conditions and type of emulsions. *Food Chemistry*. 2016;194:476–486. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.08.046>
155. Solomando JC, Antequera T, Ruiz-Carrascal J, Perez-Palacios T. Improvement of encapsulation and stability of EPA and DHA from monolayered and multilayered emulsions by high-pressure homogenization. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2020;44:14290. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14290>
156. Коденцова В. М. Градации уровней потребления витаминов: возможные риски при чрезмерном потреблении. *Вопросы питания*. 2014. Т. 83. № 3. С. 41–51. [Kodentsova VM. Gradation in the level of vitamin consumption: Possible risk of excessive consumption. *Problems of nutrition*. 2014;83(3):41–51. (In Russ.)] <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2014-00028>
157. Swanson D, Block R, Mousa SA. Omega-3 fatty acids EPA and DHA: Health benefits throughout life. *Advances in Nutrition*. 2012;3(1):1–7. <https://doi.org/10.3945/an.111.000893>

Дополнительная информация об авторах / Additional information about the authors

Глухарев Андрей Юрьевич / Andrei Yu. Glukharev ORCID 0000-0002-6083-546X; eLIBRARY SPIN 8485-0558
Волченко Василий Игоревич / Vasily I. Volchenko ORCID 0000-0001-6454-7919; eLIBRARY SPIN 2505-1928
Гроховский Владимир Александрович / Vladimir A. Grokhovsky ORCID 0000-0002-1892-0257; eLIBRARY SPIN 5171-8885
Колотова Дарья Сергеевна / Daria S. Kolotova ORCID 0000-0002-1700-2323; eLIBRARY SPIN 3803-6815