Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2025-4-63-69 Оригинальная статья/Research article
УДК 639.371 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Обоснование применения хитина и хитозана для псевдокапсулирования рыбных комбикормов

Константин В. Мишинев [1] mishinev.k@yandex.ru 0009-0006-0202-7700
Александр Н. Остриков [1] ostrikov27@ya.ru 0000-0002-2335-0017
Максим В. Копылов [1] kopylov-maks@yandex.ru 0000-0003-2678-2613
Игорь С. Богомолов [2] igor-bog@ya.ru 0000-0001-8172-6919

1 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия
2 ВНИИ комбикормовой промышленности, пр-т Труда, 91, г. Воронеж, 394026, Россия

Аннотация. В статье представлено комплексное научное и технологическое обоснование применения хитина и его производного хитозана для создания защитных инертных оболочек (псевдокапсул) на гранулах рыбных комбикормов. Актуальность работы обусловлена необходимостью решения ключевых проблем современной аквакультуры, связанных с потерями водорастворимых нутриентов, окислением липидов и микробиологической порчей кормов, особенно при использовании альтернативных, в том числе растительных, компонентов с высоким содержанием жиров. Авторы доказывают, что хитин, как высокомолекулярный аминополисахарид, полученный из панцирей ракообразных, обладает уникальным сочетанием свойств, делающих его идеальным материалом для псевдокапсулирования. К ним относятся химическая инертность, механическая прочность, термостойкость, нетоксичность, биоразлагаемость и, что особенно важно, выраженные барьерные и антимикробные свойства. Образующаяся хитиновая пленка предотвращает вымывание витаминов, аминокислот и минеральных веществ в воду, защищает жиры от прогоркания, подавляет развитие патогенной микрофлоры (включая золотистый стафилококк) и тем самым существенно увеличивает срок хранения корма. В технологическом аспекте статья описывает усовершенствованный процесс производства, включающий экструзию, вакуумную пропитку гранул жидкими компонентами и финишное нанесение хитиновой оболочки. Это позволяет программировать свойства корма, такие как плавучесть и скорость погружения, и обеспечивает высокую водостабильность гранул, что критически важно для кормления ценных видов рыб (осетровых, лососевых). Практическая ценность исследования подтверждена результатами производственных испытаний на осетровых рыбах. Применение псевдокапсулированных комбикормов позволило повысить усвояемость питательных веществ на 10–12%, увеличить привесы на 10–12% и снизить конверсию корма на 15%. Экономический эффект выразился в сокращении затрат корма на единицу продукции на 8–12%. Представленные рецептуры стартового и продукционного кормов соответствуют физиологическим потребностям рыб, а микробиологический анализ подтвердил их экологическую чистоту и улучшенные санитарные показатели. Таким образом, исследование демонстрирует, что псевдокапсулирование с использованием хитина и хитозана является эффективным инновационным решением. Оно направлено на повышение питательной ценности, сохранности и экономической эффективности комбикормов, что способствует устойчивому развитию индустриальной аквакультуры.

Ключевые слова: хитин, хитозан, псевдокапсулирование, рыбный комбикорм, инертные оболочки, показатели качества, технология.

Rationale for the use of chitin and chitosan for pseudo-encapsulation of fish feed

Konstantin V. Mishinev [1] mishinev.k@yandex.ru 0009-0006-0202-7700
Alexander N. Ostrikov [1] ostrikov27@ya.ru 0000-0002-2335-0017
Maxim V. Kopylov [1] kopylov-maks@yandex.ru 0000-0003-2678-2613
Igor S. Bogomolov [2] igor-bog@ya.ru 0000-0001-8172-6919

1 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia
2 All-Russian Research Institute of Feed Industry, Truda Ave., 91, Voronezh, 394026, Russia

Abstract. This article presents a comprehensive scientific and technological rationale for the use of chitin and its derivative chitosan to create protective inert shells (pseudocapsules) on fish feed pellets. The relevance of this work stems from the need to address key issues in modern aquaculture related to the loss of water-soluble nutrients, lipid oxidation, and microbiological spoilage of feed, particularly when using alternative, high-fat ingredients, including plant-based ones. The authors demonstrate that chitin, a high-molecular-weight aminopolysaccharide obtained from crustacean shells, possesses a unique combination of properties that make it an ideal material for pseudoencapsulation. These include chemical inertness, mechanical strength, heat resistance, non-toxicity, biodegradability, and, crucially, pronounced barrier and antimicrobial properties. The resulting chitinous film prevents the leaching of vitamins, amino acids, and minerals into water, protects fats from rancidity, inhibits the growth of pathogenic microflora (including Staphylococcus aureus), and thereby significantly increases the shelf life of the feed. In terms of technology, the article describes an improved production process, including extrusion, vacuum impregnation of pellets with liquid components, and final application of a chitinous coating. This allows for programmable feed properties, such as buoyancy and sinking speed, and ensures high water stability of the pellets, which is critical for feeding valuable fish species (sturgeon, salmon). The practical value of the study is confirmed by the results of production trials on sturgeon. The use of pseudoencapsulated compound feed increased nutrient digestibility by 10-12%, increased weight gain by 10-12%, and reduced feed conversion by 15%. The economic effect resulted in a reduction in feed costs per unit of production by 8-12%. The presented starter and grower feed formulations meet the physiological needs of fish, and microbiological analysis confirmed their environmental friendliness and improved sanitary properties. Thus, the study demonstrates that pseudoencapsulation using chitin and chitosan is an effective innovative solution. It aims to improve the nutritional value, shelf life, and cost-effectiveness of compound feed, thereby contributing to the sustainable development of industrial aquaculture.

Keywords: chitin, chitosan, pseudoencapsulation, fish compound feed, inert shells, quality indicators, technology.

Для цитирования
Мишинев К.В., Остриков А.Н., Копылов М.В., Богомолов И.С. Обоснование применения хитина и хитозана для псевдокапсулирования рыбных комбикормов // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 4. С. 63–69. doi:10.20914/2310-1202-2025-4-63-69

For citation
Mishinev K.V., Ostrikov A.N., Kopylov M.V., Bogomolov I.S. Rationale for the use of chitin and chitosan for pseudo-encapsulation of fish feed. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 4. pp. 63–69. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-4-63-69

© 2025, Мишинев К.В. Мишинев К.В. и др. / Mishinev K.V. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Ограничения используемых в промышленности технологий производства комбикормов для ценных пород рыб с использованием рыбной муки и рыбьего жира не позволяют обеспечить высокие темпы развития аквакультуры. Среди наиболее перспективных направлений технологий при производстве кормов для аквакультуры эксперты называют применение альтернативных источников протеина, в т. ч. растительного происхождения. В дальнейшем можно ожидать сокращения использования в кормах рыбной муки до 10% sпри увеличении растительного протеина до 69%, а новых компонентов – до 10% [9].

Современные технологии производства аквакомбикормов для ценных пород рыб основаны на использовании экструзионной обработки многокомпонентной смеси для придания различной плавучести и регулируемой скорости погружения получаемого комбикорма. Экструзионная технология позволит вводить в продукт большое количество жира – до 35–40%, достичь высокого (до 90%) уровня расщепления крахмала. Экструдированный продукт имеет высокую водостойкость, сохраняет свою форму [3]. Применение более глубокой гидробаротермической обработки совместно с вакуумным эмульгированием жидких компонентов и жира позволит выйти на создание комбикормов с программируемыми свойствами, максимально адаптированные для разных пород ценных рыб [2, 9].

В своей работе Parker R. [13] проанализировал влияние включения побочных продуктов животного происхождения в комбикорма для атлантического лосося. Автор пришел к выводу, что такое использование ресурсов может способствовать снижению экологической нагрузки в аквакультуре, однако одновременно влияет и на качество конечной продукции. Величина этого эффекта зависит от метода распределения, выбранного для обработки продуктов и побочных продуктов в системах кормления. Производство австралийского лосося (*Salmo salar*) характеризуется возможностью широкого включения в корма побочных продуктов животного происхождения (птицеводства и мясного скотоводства), что предлагает решения для снижения экологической нагрузки, связанной с утилизацией этих ресурсов.

Ученые [11] представили исследования, в которых оценивалась возможность кормления готового корма для молодых озерных осетровых *Acipenser fulvescens* и определялась оптимальная скорость подачи мягко-влажного корма на показатели роста и состав всего тела рыбы. Оптимальные скорости кормления, основанные на удельном темпе роста, оценивались как 7,6 и 6,2% для осетровых осей весом 3,5 и 7,8 г соответственно.

Коллективом под руководством Liland N.S. [12] исследовали влияние пищевых растительных масел на накопление липидов в кишечнике у атлантического лосося. Рыбу кормили комбикормом с высоким содержанием растительного белка и рыбьего жира, заменяемого оливковым маслом, рапсовым маслом, либо соевым маслом. Были отмечены задержки переноса липидов в рапсовом масле, возможно, вызванные высоким содержанием ненасыщенных жирных кислот.

В научной литературе представлены данные [10] об изучении влияния плодов шиповника и сафлора (Rose hip (*Rosa canina*) и Safflower (*Carthamus tinctorius*)) на показатели роста, гематологические, биохимические параметры и врожденный иммунный ответ у молодой белуги Huso huso. Рыбы (26,3 ± 0,4 г) выделялись в 15 резервуаров (20 рыб на один резервуар), а трижды группы получали контрольную диету или диеты, содержащие 1 и 2% лекарственных трав, соответственно. Коэффициент конверсии корма (FCR), удельный темп роста (SGR) и коэффициент состояния (CF) не выявили значительных различий (P> 0,05) у рыб при травяных диетах. Значительные различия наблюдались в отношении количества лейкоцитов (WBC) и гемоглобина (Hb) среди диетических методов лечения. Уровни сывороточной аланинаминотрансферазы (АЛТ) и аспартатаминотрансферазы (АСТ) были значительно ниже в дозированных группах диеты по сравнению с контролем. Врожденные иммунные реакции (активность лизоцима и ACH50) были значительно выше у 2% рыбы, питавшейся сафлором, по сравнению с другими группами. Полученные данные свидетельствуют о том, что включение лекарственных трав в рацион может служить эффективной кормовой добавкой, положительно влияющей на физиологическое состояние и усиливаемой иммунный ответ у персидского осетра.

Было установлено [14], что включение в рацион рапсового и сафлорового масел влияет на показатели роста и профиль жирных кислот русского осетра (*Acipenser gueldenstaedtii*). При этом они заменили 50% рыбьего жира (FO) рапсовым маслом (CO) и сафлоровым маслом (SFO) в рационах русского осетра. Были составлены две изопротеиновые (48%) и изолидные (12%) диеты, объединяющие два источника масла (50% рыбьего жира + 50% рапсовым маслом или 50% рыбьего жира + 50% сафлорового масла). Диеты скармливали трем группам рыб в течение 15 недель дважды в день. При этом значимых

различий между группами, получавшими рапсовое (СО) и сафлоровое (СФО) масла, по таким показателям, как прирост массы, удельная скорость роста, коэффициент конверсии корма и коэффициент эффективности белка, выявлено не было. Таким образом, частичная (50%) замена рыбьего жира на СО или СФО в рационе осетровых не оказывает негативного влияния на их рост, эффективность использования корма и жирнокислотный состав мышечной ткани.

Вышеприведенный анализ показывает, что доминирующим направлением повышения качества и усвояемости комбикормов для рыб является относительно высокое содержание липидов. Однако, для предотвращения прогоркания жиров необходимы технологии нанесения защитных оболочек, которые сводили к минимуму процессы окисления жиров, увеличивая тем самым продолжительность их хранения.

Предлагаемые многими исследователями [2–4, 6–8, 13, 14] научно-обоснованные полноценные рецептуры комбикормов для рыб имеют серьезный недостаток: содержащие в них питательные компоненты, минеральные и биологически активных веществ легко растворимы в воде. При их внесении в воду такие компоненты относительно быстро растворяются, переходя в жидкую фазу и снижая тем самым их количество, необходимое для полноценного питания рыб.

Отсутствие сбалансированных, высокоусвояемых комбикормов для ценных пород рыб создает трудности для воспроизводства и выращивания популяций ценных видов рыб – осетровых, сиговых, лососевых и других [2]. Получение псевдокапсулированных комбикормов предотвращает перенос водорастворимых веществ из корма в воду и обеспечивает их поступление в желудочно-кишечный тракт рыб [4, 5].

Анализ приведенных данных показывает, что недостаточное изучение общих закономерностей процессов получения псевдокапсулированных кормов рыб сдерживает использование новых, перспективных способов и разработку на их основе эффективных технологий, позволяющих увеличить не только усвояемость комбикормов, но и существенно повысить сроки их хранения. Поэтому важное значение приобретают задачи серьезного решения вопросов разработки научно обоснованных режимов осуществления технологических процессов и аппаратурного оформления технологий получения псевдокапсулированного комбикорма.

Материалы и методы

Выполненный аналитические исследования позволили выявить и обосновать выбор в качестве инертного носителя хитина – высокомолекулярного аминополисахарида, который является основным компонентом наружного скелета (панцирь и клешни) членистоногих и входит в состав клеточных стенок грибов, ряда бактерий и сине-зелёных водорослей.

Хитин $(C_8H_{13}NO_5)_n$ – биополимер группы азотсодержащих полисахаридов из остатков N-ацетилглюкозамина, связанных между собой β-(1→4)-гликозидными связями. Его отличительными особенностями являются: нерастворимость в воде из-за высокой степени кристалличности и прочной системы водородных связей, механическая прочность, термостойкость (устойчивость к высоким температурам), химическая инертность (он устойчив к воздействию кислот и щелочей при умеренных температурах), нетоксичность и биоразлагаемость, а также он обладает противомикробными свойствами [7].

При гидролизе хитина с концентрированной щелочью (NaOH) образуется хитозан, который представляет собой линейный полимер, состоящий из звеньев D-глюкозамина и оставшихся звеньев N-ацетилглюкозамина, соединённых β-(1,4)-гликозидными связями [8].

Чтобы получить хитин в чистом виде, из содержащих его органических веществ удаляют белок, кальций и другие минералы, переводя их в растворимую форму. В результате получается хитиновая крошка. Из-за способности хитина к абсорбированию покрытие из него предотвращает потерю влаги. Снижение активности воды на поверхности гранул комбикорма увеличивает время его хранения. Кроме того, хитозановая пленка понижает скорость распространения микробов в комбикорме, подавляет появление бактерии золотистого стафилококка и повышает продолжительность хранения, пленка из хитозана является практически прозрачной упаковкой.

Для оценки физико-механических свойств псевдокапсулированных комбикормов определяли следующие показатели: отбор проб – по ГОСТ 13496.0; объемную массу и угол естественного откоса – по ГОСТ 28254, гранулометрический состав частиц – по ГОСТ 13496.8. массовую долю белка в комбикорме методом Кьельдаля – по ГОСТ 13496.4–93, массовую долю сырого жира в комбикорме – по ГОСТ 13496.15–2016; определение запаха – по ГОСТ 13496.13; определение массовой доли влаги – по ГОСТ 13496.3; определение крошимости – по ГОСТ 28497; определение водостойкости – по ГОСТ 28758, наличие патогенной микрофлоры (ГОСТ 31708, 31878).

Твердость псевдокапсулированных гранул (*H*) определялась по отношению максимальной силы (*F*), разделенной на средний диаметр анализируемой гранулы (*d*). Полученные значения твердости аппроксимировались средними значениями по всем проведенным опытам.

Плавучесть псевдокапсулированных гранул определялась следующим образом. В стеклянный сосуд диаметром 200 мм с 4 л воды осторожно помещались пятьдесят гранул. Плавающие гранулы были подсчитаны после 30 с. В зависимости от полученной количества плавающих гранул образцы классифицировались следующим образом: если количество плавающих гранул было менее 30%, то считали, что это тонущие гранулы, если от 30% до 70% – то полуплавающие гранулы и если более 70% – то плавающие гранулы.

Для определения прочности 350 г псевдокапсулированных гранул были просеяны на рассеве с размером отверстий от 1,0 мм до 7,1 мм. Во всех опытах измельченные гранулы составляли менее 0,1% от начальной массы образца.

Результаты

Технология производства псевдокапсулированного аквакорма для ценных пород рыб, позволяющая получать тонущие, медленно тонущие и плавающие корма, включала следующие основные операции: формирование исходной смеси компонентов комбикорма в соответствие с заданной рецептурой, смешивание, влаготепловая обработка в кондиционере-пропаривателе, экструдирование, высушивание-охлаждение экструдированных гранул с влажностью 20–25% до влажности 8%. Затем гранулы помещались в вакуумный напылитель, в котором создавался вакуум 200–300 mbar. После этого на поверхность гранул наносились жидкие компоненты: (белково-витаминно-липидный комплекс, улучшители, ароматизаторы, и т. д.), в количестве до 40%. Далее в вакуумный напылитель подавался воздух, под давлением которого жидкие компоненты проникают в поры гранул. При этом поверхность гранул комбикорма покрывается маслом, которое поступают по капиллярам вглубь гранул [3]. Вакуумная пропитка гранул маслом придает им эстетичный вид с однородной выровненной поверхностью, более эластичной оболочкой, лучше защищенной от истирания.

На завершающем этапе вводились инертные оболочки для нанесения их на наружную поверхность гранул. Нанесение инертных оболочек на поверхность экструдированных гранул придают медленно тонущим и плавающим кормам для ценных пород рыб высокую стабильность в воде.

Объектом исследования являлись псевдокапсулированные комбикорма для осетровых рыб: стартовый для рыб массой от 5 г до 100 г [1] и продукционный для рыб массой от 100 г и более. За основу были взяты рецепты рыбных комбикормов, разработанные проф. Пономаревым С.В. [9], которые были доработаны в соответствие с технологией вакуумного напыления [2, 3].

При корректировке состава рецептов псевдокапсулированных комбикормов использовали известные данные о потребности рыб в протеине, липидах, углеводах, минеральных веществах, а также в незаменимых аминокислотах [9].

Были проведены исследования по определению эффективности скармливания псевдокапсулированных комбикормов в кормлении осетровых рыб на крестьянском фермерском хозяйстве (КФХ) Малахов А.Е, которые показали, что их применение способствует снижению затрат корма на единицу произведённой продукции на 8–12% за счет лучшей переваримости питательных веществ, повышает усвояемость рыбами комбикормов на 10–12% и привесы рыб на 10–12% и снижают конверсию корма на 15%.

В зависимости от стадий развития осетровых рыб использовались стартовый комбикорм, предназначенный для молоди массой около 5 г, обладающих к началу активного питания пищеварительной системой, и продукционный комбикорм для рыб массой свыше 100 г.

При этом стартовые комбикорма должны содержать не менее 45–50% сырого протеина, 11–15% жира, 15–20% безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ), клетчатки не более 2%, 10–12% минеральных веществ и 12–15 тыс. кДж переваримой энергии на 1 кг корма, а продукционные корма – не менее 40–45% протеина, 7–15% жира, 20–25% БЭВ, не более 3% клетчатки, 10–15% минеральных веществ и не менее 10–12 тыс. кДж переваримой энергии на 1 кг кормосмеси [9].

Всем этим требованиям удовлетворяют псевдокапсулированные комбикорма для осетровых рыб, рецептуры которых приведены в таблице 1.

Качество псевдокапсулированных комбикормов для ценных пород рыб оценивали по микробиологическим показателям (таблица 2).

Таблица 1.

Рецепты и основные показатели псевдокапсулированных комбикормов, %

Table 1.

Recipes and main indicators of pseudo-encapsulated compound feeds, %

Компоненты | Ingredients	Рецепт комбикорма для осетровых | Recipe	
	стартовых | start	продукционных | production
Мука рыбная | Fishmeal	42	37
Мука мясокостная | Meat and bone meal	12	3,4
Мука кровяная | Blood meal	2	5
Мука водорослевая | Seaweed meal	–	
Обрат сухой | Dried whey	–	
Дрожжи кормовые | Feed yeast	10	9
Пшеница мелкого помола | Finely ground wheat	10	12,8
Шрот соевый | Soybean meal	10	19,2
Витазар | Vitazar	5	5
Рыбий жир | Fish oil	–	3
Масло растительное | Vegetable oil	–	3
Глютен | Gluten	12	
Фосфатиды | Phosphatides	–	
Премикс ПФ-2В | PF 2B premix	1,0	1,0
Хитозан | Chitosan	1,0	1,6
Содержание основных питательных веществ, % | Content of essential nutrients, %		
Сырой протеин | Crude protein	45,5	44,3
Сырой жир | Crude fat	9,7	10,0
Сырая клетчатка | Crude fiber	22,9	32,4
БЭВ | Natural extracts	2,2	1,4
Лизин | Lysine	2,5	2,4
Метионин+цистин | Methionine + cystine	1,3	1,2
Триптофан | Tryptophan	14,3	13,8
Обменная энергия, МДж/кг | Metabolizable energy, MJ/kg	45,5	44,3

Таблица 2.

Микробиологические показатели псевдокапсулированных комбикорма

Table 2.

Microbiological parameters of pseudo-encapsulated compound feed

Показатель	Допустимые значения	Образец
КМАФАнМ, КОЕ/г, не более | QMAFAnM, CFU/g, no more than	1×1E4	0,4×1E4
масса продукта (г), в которой не допускаются: | Product weight (g), in following are not allowed:		
БГКП (колиформы) | Coliforms	1,0	–
Патогенные, в т. ч. сальмонеллы | Pathogenic, including Salmonella	25	–
Bcereus | Bcereus	0,1	–
Плесени, КОЕ/г, не более | Molds, CFU/g, no more than	50	–

Анализ данных, приведенных в таблице 2 показывает, что предлагаемый псевдокапсулированный комбикорм экологически чистый, имеет улучшенное санитарное состояние.

Заключение

1. Использование в качестве инертного носителя для псевдокапсулирования гранул комбикорма хитина и хитозана показало, что они нерастворимы в воде имеют высокую механическая прочность, устойчивость к высоким температурам, нетоксичность и биоразлагаемость, и обладают противомикробными свойствами. Установлено, что хитиновая пленка понижает скорость распространения микробов в комбикорме, подавляет появление бактерии золотистого стафилококка и повышает продолжительность хранения.

2. Проведенные исследования по определению эффективности скармливания псевдокапсулированных комбикормов в кормлении осетровых рыб показали, что их применение способствует снижению затрат корма на единицу произведённой продукции на 8–12% за счет лучшей переваримости питательных веществ, повышает усвояемость рыбами комбикормов на 10–12% и привесы ценных пород рыб на 10–12% и снижают конверсию корма на 15%.

3. Предлагаемый псевдокапсулированный комбикорм экологически чистый, имеет улучшенное санитарное состояние.

Литература

1 Абросимова К.С., Абросимова Н.А., Васильева Л.М. Проблемы выращивания личинок и мальков осетровых рыб в интенсивной аквакультуре и пути их решения // Фундаментальные исследования. 2015. № 2-9. С. 1882–1886.

2 Афанасьев В.А., Остриков А.Н., Богомолов И.С. и др. Разработка технологии высокоусвояемых комбикормов с вакуумным напылением жидких компонентов // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2021. Т. 83. № 1. С. 94–101.

3 Афанасьев В.А., Богомолов И.С., Остриков А.Н. и др. Технология и оборудование для производства комбикормов для ценных пород рыб // Комбикорма. 2021. № 1. С. 24–28.

4 Василенко В.Н., Фролова Л.Н., Кочкин И.Ю. и др. Разработка продуктивных псевдокапсулированных комбикормов для радужной форели, выращиваемой в Центральном федеральном округе Российской Федерации // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2023. Т. 85. № 1. С. 174–179. doi: 10.20914/2310-1202-2023-1-174-179

5 Васильев Д.С., Москаленко С.П., Поддубная И.В. и др. Эффективность использования муки из гидробионтов разной технологии приготовления в кормлении радужной форели // Аграрный научный журнал. 2021. № 5. С. 50–53.

6 Muñoz-Tebar N., López-Carballo G., Fernández-Santos M. et al. Chitosan edible films and coatings with added bioactive compounds: Antibacterial and antioxidant properties and their application to food products: A review // Polymers. 2023. V. 15. № 2. P. 396. doi: 10.3390/polym15020396

7 Бектурсунова М.Ж., Семенова А.А., Новикова Е.В. и др. Использование нетрадиционных видов сырья при производстве комбикормов для ценных видов рыб // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2022. № 2. С. 34–49.

8 Москаленко С.П., Васильев Д.С. Целесообразность использования продуктов переработки ракообразных в составе комбикормов для радужной форели // Аграрный научный журнал. 2020. № 2. С. 55–60.

9 Пономарев С.В., Грозеску Ю.Н., Бахарева А.А. Корма и кормление рыб в аквакультуре. М.: Моркнига, 2013. 410 с.

10 Dadras H., Hayatbakhsh M.R., Shelton W.L., Golpour A. Effects of dietary administration of Rose hip and Safflower on growth performance, haematological, biochemical parameters and innate immune response of Beluga, Huso huso (Linnaeus, 1758) // Fish & Shellfish Immunology. 2016. V. 59. P. 109–114.

11 Lee S., Zhao H., Li Y. et al. Evaluation of Formulated Feed for Juvenile Lake Sturgeon Based on Growth Performance and Nutrient Retention // North American Journal of Aquaculture. 2018. V. 80. № 2. P. 223–236.

12 Liland N.S., Johnsen E.N., Hellberg H. et al. Effects of dietary vegetable oils and varying dietary EPA and DHA levels on intestinal lipid accumulations in Atlantic salmon // Aquaculture Nutrition. 2018. V. 24. № 5. P. 1599–1610.

13 Parker R. Implications of high animal by-product feed inputs in life cycle assessments of farmed Atlantic salmon // The International Journal of Life Cycle Assessment. 2018. V. 23. № 5. P. 982–994.

14 Tiril S.U., Dernekbasi S., Karayucel I. et al. Effects of canola and safflower oil supplementation in diets, on growth performance and fatty acid composition of russian sturgeon (Acipenser gueldenstaedtii brandt, 1833) // Israeli Journal of Aquaculture – Bamidgeh. 2016. V. 68. P. 1222.

15 Pourhosein-Sarameh S. Application of various sources of vegetable lipids in sturgeon feeding // Aquatic Animals Nutrition. 2022. V. 8. № 2. P. 39–52.

16 Naghdi S., Mohtasebi S.S., Aghbashlo M. et al. Insights into fishery by-product application in aquatic feed and food: a review // Aquaculture International. 2024. V. 32. № 5. P. 5851–5910.

17 Athanasopoulou E., Mente E., Karapanagiotidis I.T. et al. Chitosan-based biodegradable coatings for securing nutrients in extruded fish feed pellets // Aquaculture and Fisheries. 2025. V. 10. № 6. P. 1062–1068. doi: 10.1016/j.aaf.2025.04.001

18 Fotodimas I., Mente E., Vafiadis D. et al. Sustainable Aquaculture Through Enzymatic Hydrolysis of Raw Chitin from Crab By-Products: Functional Fish Feeds Targeting Fish Health with Implications for Human Health // Fishes. 2025. V. 10. № 10. P. 514.

19 Hasan I., Pribowo S.G.H., Damayanti S. et al. Chitinase and insect meal in aquaculture nutrition: A comprehensive overview of the latest achievements // Fishes. 2023. V. 8. № 12. P. 607.

20 Abu-Elala N.M., Attia M.M., Abd-Elsalam R.M. et al. Chitosan for Aquaculture: Growth Promotion, Immune Modulation, Antimicrobial Activity, Bio-Carrier Utility, Water Quality Management, and Safety Considerations – A Review // Annals of Animal Science. 2025. V. 25. № 2. P. 483–509.

21 Kumaran S., Kamaraj V., Manikandan S. et al. Chitin derivatives of NAG and chitosan nanoparticles from marine disposal yards and their use for economically feasible fish feed development // Chemosphere. 2021. V. 281. P. 130746. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.130746

References

1 Abrosimova K.S., Abrosimova N.A., Vasilyeva L.M. Problems of growing larvae and fry of sturgeon fish in intensive aquaculture and ways to solve them. Fundamental Research. 2015. no. 2-9. pp. 1882–1886. (in Russian)

2 Afanasyev V.A., Ostrikov A.N., Bogomolov I.S. et al. Development of technology for highly digestible compound feeds with vacuum spraying of liquid components. Bulletin of Voronezh State University of Engineering Technologies. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 94–101. (in Russian)

3 Afanasyev V.A., Bogomolov I.S., Ostrikov A.N. et al. Technology and equipment for the production of compound feeds for valuable fish species. Compound Feeds. 2021. no. 1. pp. 24–28. (in Russian)

4 Vasilenko V.N., Frolova L.N., Kochkin I.Yu. et al. Development of productive pseudo-encapsulated compound feeds for rainbow trout grown in the Central Federal District of the Russian Federation. Bulletin of Voronezh State University of Engineering Technologies. 2023. vol. 85. no. 1. pp. 174–179. doi: 10.20914/2310-1202-2023-1-174-179 (in Russian)

5 Vasiliev D.S., Moskalenko S.P., Poddubnaya I.V. et al. Efficiency of using hydrobiont flour of different preparation technologies in rainbow trout feeding. Agrarian Scientific Journal. 2021. no. 5. pp. 50–53. (in Russian)

6 Muñoz-Tebar N., López-Carballo G., Fernández-Santos M. et al. Chitosan edible films and coatings with added bioactive compounds: Antibacterial and antioxidant properties and their application to food products: A review. Polymers. 2023. vol. 15. no. 2. p. 396. doi: 10.3390/polym15020396

7 Bektursunova M.Zh., Semenova A.A., Novikova E.V. et al. The use of non-traditional types of raw materials in the production of compound feeds for valuable fish species. Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Fisheries. 2022. no. 2. pp. 34–49. (in Russian)

8 Moskalenko S.P., Vasiliev D.S. Feasibility of using crustacean processing products in compound feeds for rainbow trout. Agrarian Scientific Journal. 2020. no. 2. pp. 55–60. (in Russian)

9 Ponomarev S.V., Grozesku Yu.N., Bahareva A.A. Feeds and feeding of fish in aquaculture. Moscow: Morkniga, 2013. 410 p. (in Russian)

10 Dadras H., Hayatbakhsh M.R., Shelton W.L., Golpour A. Effects of dietary administration of Rose hip and Safflower on growth performance, haematological, biochemical parameters and innate immune response of Beluga, Huso huso (Linnaeus, 1758). Fish & Shellfish Immunology. 2016. vol. 59. pp. 109–114.

11 Lee S., Zhao H., Li Y. et al. Evaluation of Formulated Feed for Juvenile Lake Sturgeon Based on Growth Performance and Nutrient Retention. North American Journal of Aquaculture. 2018. vol. 80. no. 2. pp. 223–236.

12 Liland N.S., Johnsen E.N., Hellberg H. et al. Effects of dietary vegetable oils and varying dietary EPA and DHA levels on intestinal lipid accumulations in Atlantic salmon. Aquaculture Nutrition. 2018. vol. 24. no. 5. pp. 1599–1610.

13 Parker R. Implications of high animal by-product feed inputs in life cycle assessments of farmed Atlantic salmon. The International Journal of Life Cycle Assessment. 2018. vol. 23. no. 5. pp. 982–994.

14 Tiril S.U., Dernekbasi S., Karayucel I. et al. Effects of canola and safflower oil supplementation in diets, on growth performance and fatty acid composition of russian sturgeon (Acipenser gueldenstaedtii brandt, 1833). Israeli Journal of Aquaculture – Bamidgeh. 2016. vol. 68. p. 1222.

15 Pourhosein-Sarameh S. Application of various sources of vegetable lipids in sturgeon feeding. Aquatic Animals Nutrition. 2022. vol. 8. no. 2. pp. 39–52.

16 Naghdi S., Mohtasebi S.S., Aghbashlo M. et al. Insights into fishery by-product application in aquatic feed and food: a review. Aquaculture International. 2024. vol. 32. no. 5. pp. 5851–5910. doi: 10.1007/s10499-024-01571-8

17 Athanasopoulou E., Mente E., Karapanagiotidis I.T. et al. Chitosan-based biodegradable coatings for securing nutrients in extruded fish feed pellets. Aquaculture and Fisheries. 2025. vol. 10. no. 6. pp. 1062–1068. doi: 10.1016/j.aaf.2025.04.001

18 Fotodimas I., Mente E., Vafiadis D. et al. Sustainable Aquaculture Through Enzymatic Hydrolysis of Raw Chitin from Crab By-Products: Functional Fish Feeds Targeting Fish Health with Implications for Human Health. Fishes. 2025. vol. 10. no. 10. p. 514.

19 Hasan I., Pribowo S.G.H., Damayanti S. et al. Chitinase and insect meal in aquaculture nutrition: A comprehensive overview of the latest achievements. Fishes. 2023. vol. 8. no. 12. p. 607. doi: 10.3390/fishes8120607

20 Abu-Elala N.M., Attia M.M., Abd-Elsalam R.M. et al. Chitosan for Aquaculture: Growth Promotion, Immune Modulation, Antimicrobial Activity, Bio-Carrier Utility, Water Quality Management, and Safety Considerations – A Review. Annals of Animal Science. 2025. vol. 25. no. 2. pp. 483–509.

21 Kumaran S., Kamaraj V., Manikandan S. et al. Chitin derivatives of NAG and chitosan nanoparticles from marine disposal yards and their use for economically feasible fish feed development. Chemosphere. 2021. vol. 281. p. 130746. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.130746

Сведения об авторах

Константин В. Мишинев аспирант, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, mishinev.k@yandex.ru
https://orcid.org/0009-0006-0202-7700

Александр Н. Остриков д.т.н., профессор, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, ostrikov27@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-2335-0017

Максим В. Копылов д.т.н., профессор, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kopylov-maks@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0003-2678-2613

Игорь С. Богомолов к.т.н., доцент, первый заместитель, АО «Научно-производственный центр «ВНИИ комбикормовой промышленности», пр-т Труда, 91, г. Воронеж, 394026, Россия, igor-bog@ya.ru
https://orcid.org/0000-0001-8172-6919

Information about authors

Konstantin V. Mishinev graduate student, technology of fats, processes and equipment for chemical and food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, mishinev.k@yandex.ru
https://orcid.org/0009-0006-0202-7700

Alexander N. Ostrikov Dr. Sci. (Engin.), professor, technology of fats, processes and equipment for chemical and food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, ostrikov27@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-2335-0017

Maxim V. Kopylov Dr. Sci. (Engin.), professor, technology of fats, processes and equipment for chemical and food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kopylov-maks@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0003-2678-2613

Igor S. Bogomolov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, first deputy general director, All-Russian Research Institute of Feed Industry, 91 Truda Ave., Voronezh, 394026, Russia, igor-bog@ya.ru
https://orcid.org/0000-0001-8172-6919

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 03/11/2025 **После редакции** 20/11/2025 **Принята в печать** 11/12/2025

Received 03/11/2025 **Accepted in revised** 20/11/2025 **Accepted** 11/12/2025