

Научная статья
УДК 338.439.02
DOI 10.46845/1997-3071-2022-67-32-47

**Оценка питательной ценности комбикормов для лососевых с добавлением
продуктов гидролиза шпротных отходов**

**Ольга Яковлевна Мезенова¹, Дмитрий Сергеевич Пьянов², Светлана Викто-
ровна Агафонова³, Наталья Юрьевна Романенко⁴, Владимир Владимирович
Волков⁵, Наталья Сергеевна Калинина⁶, Йорг-Томас Мерзель⁷**

^{1,3,4,5,6} Калининградский государственный технический университет, Калининград,
Россия

² Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океа-
нографии (АтлантНИРО), Калининград, Россия

⁷ Научно-исследовательская и консультационная лаборатория, Альтландсберг,
Германия

¹ mezenova@klgtu.ru, ORCID 381475

² pyanov@atlantniro.ru, ORCID 0000-0002-1442-5355

³ svetlana.agafonova@klgtu.ru, ORCID 0000-0002-5992-414X

⁴ nataliya.mezenova@klgtu.ru, ORCID 0000-0002-7433-7189

⁵ vladimir.volkov@klgtu.ru ORCID 0000-0001-5560-7131

⁶ natalya.kalinina@klgtu.ru ORCID 0000-0003-0942-5411

⁷ thomas.moersel@ubf-research.com

Аннотация. Показана тенденция развития в России индустриальной аква-
культуры лососевых, и обсуждены проблемы кормопроизводства. Обоснована ра-
циональность использования в составе комбикормов продуктов гидролиза шпрот-
ных отходов – голов копченой кильки. Рассмотрен процесс получения пептидно-
протеиновой и белково-жиро-протеиновой кормовых добавок в результате высо-
котемпературной обработки шпротных отходов под давлением в гидрореакторе.
Изучен химический состав обезвоженных кормовых добавок и получаемых с их
применением комбикормов. Сублимированная пептидно-протеиновая добавка со-
держит 82,7 % водорастворимого низкомолекулярного белка, незначительные
примеси жира (8,6 %) и минеральных веществ (2,0 %). Конвекционно высушенная
белково-жиро-минеральная добавка содержит 60,9 % водонерастворимого высо-
комолекулярного белка, 20,1 % минеральных веществ (кальция и фосфора) и
11,0 % жира. Проведены эксперименты по использованию полученных добавок в
составе комбикормов для мальков европейского сига *Coregonus Lavaretus* в индус-
триальной аквакультуре в качестве источника протеиновых, жировых и мине-
ральных компонентов. Изготовление контрольных комбикормов проведено на ос-
нове кормовой рыбной муки по рецептуре ФАО для лососевых. Получение экспе-

© Мезенова О. Я., Пьянов Д. С., Агафонова С. В., Романенко Н. Ю., Волков В. В.,
Калинина Н. С., Мерзель Й.-Т., 2022

риментальных комбикормов проведено путем введения в базовые рецептуры соответственно 5 и 10 % протеиновой и белково-жиро-минеральной добавок, полученных на основе гидролизатов шпротных отходов. Изучена питательная ценность изготовленных кормовых добавок и комбикормов по аминокислотному составу протеинов и жирнокислотному составу липидов. Показано повышенное содержание ненасыщенных и полиненасыщенных жирных кислот, незаменимых аминокислот в кормовых добавках и экспериментальных кормах относительно контрольных. Проведены сравнительные эксперименты по выращиванию мальков сиговых в течение 56 сут с применением экспериментальных кормов в УЗВ-установке с шестью аквариумами. Получены положительные результаты по физиологическим и ростовым показателям в экспериментальных группах мальков относительно контрольных. В экспериментальных группах сиговых были более высокие показатели прироста массы тела, выживаемости, удельной скорости роста при снижении кормового коэффициента. Сделан вывод о рациональности получения гидролизатов шпротных отходов и их применения в качестве кормовых добавок в составе комбикормов для лососевых. Целесообразно продолжить биологические эксперименты при дальнейшем росте дозировок данных добавок и проведении соответствующих морфобиологических и гематологических исследований.

Ключевые слова: индустриальная аквакультура, лососевые, шпротные отходы, гидролизаты, пептидная добавка, белково-жиро-минеральная добавка, питательная ценность, жирные кислоты, аминокислоты

Благодарности: работа выполнена при поддержке гранта Роскомрыболовства по Госзаданию "Обоснование применения биопродуктов, получаемых глубоким гидролизом вторичных водных биологических ресурсов и другого вторичного белоксодержащего сырья, в комбикормах для основных объектов индустриальной аквакультуры".

Для цитирования: Мезенова О. Я., Пьянов Д. С., Агафонова С. В., Романенко Н. Ю., Волков В. В., Калинина Н. С., Мерзель Й.-Т. Оценка питательной ценности комбикормов для лососевых с добавлением продуктов гидролиза шпротных отходов // Известия КГТУ. 2022. № 67. С. 32–47. DOI: 10.46845/1997-3071-2022-67-32-47.

Original article

Evaluation of the nutritional value of mixed feed for salmon with the addition of hydrolysis products of sprat waste

Olga Ya. Mezenova¹, Dmitriy S. Pyanov², Svetlana V. Agafonova³, Natalya Yu. Romanenko⁴, Vladimir V. Volkov⁵, Natalya S. Kalinina⁶, Jörg-Thomas Moerzel⁷

^{1,3,4,5,6} Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

² Atlantic branch of VNIRO ("AtlantNIRO"), Kaliningrad, Russia

⁷ Untersuchungs- und Forschungslaboratorium (UBF), GmbH, Altlandsberg, Deutschland

Abstract. The paper shows a development trend of industrial salmon aquaculture in Russia and discusses some issues of feed production. Sustainability of using sprat

waste hydrolysis products – heads of smoked sprats in the composition of mixed fodders has been substantiated. The process of obtaining peptide-protein and protein-fat-protein feed additives as a result of high-temperature processing of sprat waste under pressure in a hydroreactor has been considered. The chemical composition of dehydrated feed additives and mixed feed obtained with their use has been studied. Freeze-dried peptide-protein supplement contains 82.7% water-soluble low molecular weight protein and minor admixtures of fat (8.6%) and minerals (2.0%). Convection dried protein-fat-mineral supplement contains 60.9% water-insoluble high molecular weight protein, 20.1% minerals (calcium and phosphorus) and 11.0% fat. Experiments have been carried out on the use of the obtained additives in the composition of feed for the fry of the European whitefish *coregonus lavaretus* in industrial aquaculture as a source of protein, fat and mineral components. The production of control compound feeds has been carried out on the basis of feed fish meal according to the FAO recipe for salmon. Obtaining experimental compound feeds has been carried out by introducing into the basic formulations, respectively, 5% and 10% protein and protein-fat-mineral additives obtained on the basis of sprat waste hydrolysates. Obtaining experimental compound feeds has been carried out by introducing into the basic formulations, respectively, 5% and 10% protein and protein-fat-mineral additives obtained on the basis of sprat waste hydrolysates. Comparative experiments have been carried out on the cultivation of whitefish fry for 56 days using experimental feeds in an RAS installation with six aquariums. Positive results have been obtained in terms of physiological and growth parameters in the experimental groups of fry relative to the control ones. In the experimental groups of whitefish, there were higher rates of body weight gain, survival, specific growth rate with a decrease in the feed coefficient. The conclusion is made about the rationality of obtaining hydrolyzates of sprat waste and their use as feed additives in the composition of feed for salmon. It is recommended to continue biological experiments with a further increase in the dosages of these additives and conduct appropriate morphobiological and hematological studies.

Keywords: industrial aquaculture, salmon, sprat waste, hydrolysates, peptide supplement, protein-fat-mineral supplement, nutritional value, fatty acids, amino acids

Acknowledgments: The work has been supported by a grant from Roskomrybolovstvo under the State Assignment “Justification for the use of bioproducts obtained by deep hydrolysis of secondary aquatic biological resources and other secondary protein-containing raw materials in compound feed for the main objects of industrial aquaculture”.

For citation: Mezenova O. Ya., Pyanov D. S., Agafonova S. V., Romanenko N. Yu., Volkov V. V., Kalinina N. S., Moerzel J.-T. Evaluation of the nutritional value of mixed feed for salmon with the addition of hydrolysis products of sprat waste. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2022; (67): 32–47. (In Russ). DOI: 10.46845/1997-3071-2022-67-32-47.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время рыбоводство приобрело характер промышленного производства, основанного на выращивании рыб в прудах и искусственных водоемах. Последнее, или индустриальная аквакультура, относится к наиболее динамично развивающемуся сектору рыбного хозяйства. В структуре этого производства почти 45 % приходится на лососевые (семга, форель), аквакультура сегодня дает возможность приблизить производимую продукцию к потребителю и поставлять ее в свежем и охлажденном виде, обеспечивая высокое качество ценного сырья. В этом заключается одно из основных преимуществ аквакультуры перед океаническим рыболовством, поскольку с Дальнего Востока, Западного или Северного бассейнов перевозки рыбной продукции в центральную часть Российской Федерации возможны только в замороженном состоянии, при этом ее качество снижается [1].

В индустриальной аквакультуре лососевых одной из основных проблем остается обеспечение производства качественными комбикормами, сбалансированными по ключевым биологически активным веществам. Значимость проблемы кормления рыб как одного из главных способов интенсификации рыбоводного процесса также связана с тем, что искусственное кормление является полностью управляемым фактором [2]. Один из наиболее важных вопросов в решении проблемы кормления – разработка рецептуры комбикормов высокой питательной ценности с применением доступных сырьевых источников.

Традиционно в составе комбикорма для лососевых основным компонентом является рыбная мука как источник белка, жира и минеральных веществ животного происхождения. В настоящее время из-за дефицита и растущей стоимости качественной рыбной муки все шире используются альтернативные и доступные источники не только животного, но и растительного происхождения. При этом к данному сырью предъявляются требования адекватности его питательных свойств (по содержанию протеина, незаменимых аминокислот, липидов, жирных кислот и др.), также важен учет физиолого-биохимических особенностей питания и пищеварения выращиваемых рыб. В комбикормах лососевых в качестве альтернативных источников основных питательных компонентов применяются дрожжи, различные растения (бобовые, зерновые), насекомые, черви, личинки, термиты, отруби, жмых масличных культур, отходы пищевой промышленности и др. [3].

В Калининградской области одним из основных направлений стратегии развития рыбного хозяйства является аквакультура. В качестве важного государственного мероприятия систематически проводится зарыбление мальками европейского сига (*Coregonus Lavaretus* L.) Куршского залива Балтийского моря. При индустриальном выращивании мальков предпочтение отдавалось импортным комбикормам [4].

В условиях проведения политики импортозамещения и дефицита отечественной рыбной муки в кормопроизводстве представляется целесообразным использовать в составе комбикормов для лососевых гидролизаты, получаемые из отходов шпротного производства – голов копченой кильки. Данное предложение обусловлено не только высоким биопотенциалом данного сырья, но и повышенными количествами остающихся у калининградских производителей консервов "Шпроты в масле" перерабатываемых голов копченой кильки и салаки. Изуче-

ние их биопотенциала показало высокое содержание в данном сырье ценных питательных веществ – белков, жиров, кальция, фосфора, незаменимых аминокислот, полиненасыщенных жирных кислот и других БАВ [5, 6].

На кафедре пищевой биотехнологии КГТУ из шпротного вторичного сырья по разработанной и запатентованной технологии с использованием высокотемпературного гидролиза получено два вида кормовых добавок – сублимированная водорастворимая пептидно-протеиновая и сушеная водонерастворимая белково-жиро-минеральная [7]. Достоинствами водорастворимой добавки является высокое содержание в ней белка (более 80 %), при этом основные ее компоненты (около 90 %) – низкомолекулярные пептиды с молекулярной массой от 5 до 10 кДа, характеризующиеся повышенной усвояемостью и физиологической активностью [8]. Ключевым преимуществом качества водонерастворимой добавки является высокое содержание высокомолекулярного белка (более 50 %), выполняющего физиологическую функцию строительного материала и пищевых волокон животного происхождения, при этом добавка отличается повышенной жирностью (10–15 %) и значительным содержанием кальция и фосфора (20–22 % в сумме), необходимых для формирования опорно-двигательного аппарата [9].

Получаемые из шпротных голов биодобавки – это источник ценных пластических, энергетических и биологически активных веществ для организации всех органов и роста рыб в индустриальной аквакультуре.

Согласно современным представлениям в области физиологии и биохимии питания рыб на усвояемость кормов оказывают существенное влияние аминокислотный состав белковой составляющей, жирнокислотный состав липидов, а также содержание минеральных веществ. Целесообразность включения в стартовые комбикорма легкоусвояемых низкомолекулярных протеинов (пептидов) обоснована особенностями развития пищеварительной системы молоди рыб [1, 2].

Известно, что продукты гидролиза различных частей рыбы с разной степенью гидролиза белка при добавлении в рацион рыб как в чистом виде, так и с различными компонентами благотворно влияют на их развитие [4, 6, 10].

Целью исследований являлась оценка питательной ценности комбикормов для мальков сига европейского при введении в их состав водорастворимой и водонерастворимой добавок, получаемых на основе высокотемпературного гидролиза шпротных отходов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При проведении экспериментов использовали отходы шпротного производства (головы копченой кильки) одной партии выработки, предоставленные группой компаний "За Родину". Гидролиз шпротных голов проводили в Центре передовых технологий использования белка кафедры пищевой биотехнологии КГТУ. Получение кормовых добавок осуществляли путем измельчения шпротного сырья с последующим высокотемпературным гидролизом в водной среде при температуре 130 °С под давлением в специальном термореакторе. Образующуюся суспензию разделяли центрифугированием на фракции – верхнюю водорастворимую и осадочную водонерастворимую, которые высушивали соответственно сублимационным и конвективным способами. Полученные высушенные гидролизаты тонко измельчали [7].

При приготовлении экспериментальных образцов комбикормов в их состав вводили водорастворимую и водонерастворимую шпротные кормовые добавки, соответственно 5 и 10 % к массе кормовой системы. Приготовление кормов в виде гранул диаметром 2–3 мм проводили на специальном грануляторе. В качестве базовой использовали рецептуру ФАО, рекомендованную для стартовых кормов лососевых рыб, в состав которой в качестве основного компонента введена рыбная мука (табл. 1). Наряду с компонентами животного происхождения в комбикорма обязательными составляющими являются пшеничная мука (18–20 %), карбоксилметилцеллюлоза (КМЦ) (1,8–2,0 %) и витаминно-минеральный премикс (0,9–1,0 %).

Таблица 1. Состав экспериментальных и контрольных комбикормов
Table 1. Composition of experimental and control compound feeds

Компонент	Состав комбикорма, %		
	Контроль	Эксперимент с 5%-ной пептидно-протеиновой добавкой (Э5)	Эксперимент с 10%-ной белково-жиро-минеральной добавкой (Э10)
Рыбная мука	66,5	59,9	63,2
Пшеничная мука	20,0	18,0	19,1
Пептидно-протеиновая добавка	0	0	5
Белково-жиро-минеральная добавка	0	10,0	0
Рыбий жир	9,5	8,6	9,0
КМЦ	2,0	1,8	1,9
Витаминно-минеральный премикс	1,0	0,9	0,9
Желатин	1,0	0,9	0,9

Биологические эксперименты по выращиванию мальков сиговых проводили на опытной базе Атлантического филиала ФГУП "ВНИРО" (АтлантНИРО) в поселке Лесное (Зеленоградский район) в течение 56 сут в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ) с шестью аквариумами. При этом в трех малькам давали стандартный корм (контроль), а в трех других – экспериментальный (эксперимент).

При сравнительном выращивании мальков сиговых измеряли следующие рыбоводные показатели: прирост массы тела, выживаемость, удельную скорость роста, кормовой коэффициент.

Химический состав кормовых добавок и комбикормов определяли по ГОСТ 7636-85. Содержание жирных кислот в липидах и аминокислот в протеиновой части добавок и кормов исследовали с применением высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) в научно-исследовательской и консультационной лаборатории Untersuchungs- und Forschungslaboratorium (UBF) по арбитражным методикам России (ГОСТ 32195-2013) и ЕС (ISO 13903:2005, Альтландсберг, Германия).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Органолептический анализ показал, что добавки, полученные на основе термогидролиза шпротных отходов, представляют собой тонкодисперсные порошки бежевого (водорастворимая добавка) и коричневого (водонерастворимая добавка) цвета. Обе они обладают приятным "шпротным" ароматом и специфическим вкусом, свойственным копченым сельдевым рыбам.

Результаты исследования химического состава полученных кормовых добавок приведены в табл. 2.

Таблица 2. Химический состав кормовых добавок, полученных методом гидролиза голов копченой кильки, %

Table 2. Chemical composition of feed additives obtained by hydrolysis of smoked sprat heads, %

Кормовая добавка	Вода	Протеин	Мин. в-ва	Жир
Водорастворимая пептидно-протеиновая	6,7	82,7	8,6	2,0
Водонерастворимая белково-жиро-минеральная	8,0	60,9	20,1	11,0

Из табл. 2 видно, что обе добавки имеют существенно различающийся химический состав, обусловленный термодеградацией шпротного сырья. При этом они содержат достаточно высокое количество протеиновой составляющей – основного пластического материала при питании мальков (соответственно 82,7 и 60,9 %). Важно, что водонерастворимая добавка имеет в своем составе значительную долю минеральных веществ (20,1 %), представленных в основном кальцием и фосфором, а также достаточно много жира (11,0 %).

Результаты исследования химического состава образцов комбикорма приведены в табл. 3.

Таблица 3. Химический состав контрольного и экспериментальных образцов комбикормов, предназначенных для выращивания лососевых

Table 3. Chemical composition of the control and experimental samples of feed intended for growing salmon

Комбикорм	Вода	Сырой протеин	Минер. в-ва	Сырой жир	Углеводы, в том числе клетчатка
Контроль	4,7	39,4	12,9	22,7	20,3
Эксперимент – с 5%-ной водорастворимой пептидно-протеиновой добавкой (Э5)	5,3	40,8	12,5	21,7	19,7
Эксперимент – с 10 %-ной водонерастворимой белково-жиро-минеральной добавкой (Э10)	5,1	40,1	13,7	22,9	18,2

Из данных табл. 3 следует, что внесение шпротных добавок в базовую рецептуру комбикорма повышает содержание белка с 39,4 до 40,1–40,8 %. При этом в эксперименте Э10 имеет место рост в комбикорме массовых долей минеральных

веществ (с 12,9 до 13,7 %) и жира (с 22,7 до 22,9 %) относительно данных показателей в контрольных образцах.

Жирнокислотный состав липидов является важнейшим фактором питательной ценности кормов, особенно предназначенных для молоди объектов аквакультуры. Прежде всего малькам необходимы полиненасыщенные жирные кислоты класса омега-3, обеспечивающие повышение адаптивных свойств молоди, рост и развитие организма. Установлена взаимосвязь между ростом, адаптацией к условиям внешней среды и содержанием омега-3 жирных кислот в корме для рыб северных широт, к которым относятся лососевые [11].

Результаты оценки питательной ценности кормовых добавок и комбикормов с их применением, оцененные по жирнокислотному составу липидов, приведены в табл. 4.

Таблица 4. Жирнокислотный состав липидов кормовых добавок из шпротных отходов и комбикормов для лососевых, приготовленных с их применением
 Table 4. Fatty acid composition of lipids in feed additives from sprat waste and mixed feed for salmon, prepared with their use

Код	Название жирной кислоты	Содержание, % жира				
		Водорастворимая пептидо-протеиновая добавка	Водонерастворимая белково-жироминеральная добавка	Комбикорм – контроль	Комбикорм Э5 – эксперимент	Комбикорм Э10 – эксперимент
1	2	3	4	5	6	7
14:0	Миристиновая	4,2	6,9	7,7	6,7	7,1
15:0	Пентадециловая	0,0	1,4	0,0	0,0	0,1
16:0	Пальмитиновая	22,3	29,6	22,0	19,0	23,2
16:1n7	Пальмитолеиновая	5,2	7,4	6,2	5,1	6,3
17:0	Маргариновая	0,0	1,2	0,0	0,0	0,4
18:0	Стеариновая	3,5	3,7	3,7	3,2	3,3
18:1n9	Олеиновая	23,4	35,2	17,9	16,6	19,3
18:1n7	Вакценовая	3,4	3,4	3,3	2,3	2,4
18:2n6	Линолевая	2,6	2,7	3,2	2,7	2,8
18:3n6	γ-Линоленовая	0,0	0,0	6,4	3,1	3,2
18:3n3	α-Линоленовая	0,0	0,0	0,0	1,7	1,1
20:1n9	Гондоиновая	2,7	1,7	1,5	7,3	6,5
20:3n3	Эйкозатриеновая	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0
20:4n6	Арахидоновая	0,0	0,0	11,1	9,8	9,9
20:5n3	Эйкозапентаеновая	10,2	2,2	7,4	9,2	7,9
24:0	Лигноцериновая	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0

Окончание таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7
24:1n9	Нервоновая	0,0	2,1	2,0	1,6	2,2
22:6n3	Докозагексаеновая	19,4	2,4	7,7	11,8	4,3
Всего		100,0	100,0	100,0	100,0	100
Всего насыщенных		31,8	42,8	33,4	28,9	34,1
Всего мононенасыщенных		34,7	49,9	30,8	32,9	36,7
Всего полиненасыщенных		33,6	7,3	35,8	38,2	29,2
Всего омега-3 жирных кислот		33,9	4,6	15,1	22,7	16,5

Из данных табл. 4 следует, что жир обеих добавок является богатым источником мононенасыщенной олеиновой кислоты (23,4–35,2 %), относящейся к классу омега-9 жирных кислот. При этом пептидно-протеиновая добавка особенно богата жирными кислотами класса омега-3 (33,6 %), прежде всего докозагексаеновой жирной кислотой (19,4 %). Внесение данных добавок в экспериментальные корма позволяет повысить показатели питательной ценности по содержанию мононенасыщенных жирных кислот (32,6 и 36,7% относительно 30,8 % в контрольном образце) и омега-3 жирных кислот (22,7 и 16,6 % относительно 15,1 % в контроле).

При разработке состава кормов первостепенное значение имеет повышение их сбалансированности по качественному содержанию протеинов. В процессе обмена веществ при развитии организма рыб главное место отводится их аминокислотному составу и наличию незаменимых аминокислот [1, 2]. Результаты оценки аминокислотной сбалансированности кормовых добавок и комбикормов приведены в табл. 5.

Из данных табл. 5 видно, что при термогидролизе голов копченой кильки по разработанной технологии имеет место образование двух добавок, более богатых незаменимыми аминокислотами, чем исходное сырье. В шпротных отходах сумма незаменимых аминокислот (НАК) составляет 26,87 % массы белка, а в растворимой и нерастворимой добавках этот показатель возрастает соответственно до 33,79 и 55,67 %. Важно, что обе добавки и корма, полученные с их применением, содержат все незаменимые аминокислоты (кроме триптофана, который разрушается в данном методе анализа, и серосодержащих аминокислот). Последнее обстоятельство объясняется образованием из цистина, цистеина и метионина заменимой аминокислоты таурина, выполняющей важную биологическую роль в организме рыб. Таурин содержится в повышенных количествах в пептидно-протеиновой (34,62 %) и белково-жиро-минеральной добавках (11,33 %). Таурин в организме является осморегулятором клетки, мембранным протектором, регулятором внутриклеточного кальция, он обладает свойствами антиоксиданта и детоксикатора, участвует в обмене жиров и жирорастворимых витаминов [12].

Таблица 5. Аминокислотный состав протеиновой части голов копченой кильки (сырье), изготовленных на их основе кормовых добавок и комбикормов для лососевых с их применением

Table 5. Amino acid composition of the protein part of the smoked sprat heads (raw material), feed additives made on their basis and mixed feed for salmon with their use

Аминокислота	Содержание, г/100 г белка					
	Головы копченой кильки (шрот-ные отходы) – сырье для добавок	Водорастворимая протеино-пептидная добавка	Водонерастворимая белково-жиро-минеральная добавка	Комбикорм Э5 – эксперимент	Комбикорм Э10 – эксперимент	Комбикорм – контроль
Аланин	8,91	11,75	9,67	6,24	5,81	8,25
Аргинин (НАК)	5,21	1,39	21,67	1,45	5,32	0
Аспарагин	0,29	0,35	0	1,52	0	0
Аспарагиновая кислота	8,76	1,36	6,0	5,48	6,34	0
Карнозин	0,07	0	0	0	0	0
Цитрулин	0,22	0	0	1,52	0	0
Цистин	0	0	0	0	0	0
Глутамин	0,07	1,44	0	3,58	5,18	16,02
Глутаминовая кислота	13,03	3,63	6,67	7,91	21,15	25,73
Глицин	8,83	3,95	0	11,64	0	0
Гистидин (НАК)	2,10	16,30	14,67	2,13	1,26	0
Гидроксипролин	1,67	0	0	0,99	0	0
Изолейцин	1,88	1,99	0	0,91	0	0
Лейцин (НАК)	6,67	3,41	7,67	2,28	3,45	0
Лизин (НАК)	6,37	4,83	6,33	2,36	3,17	0
Метионин (НАК)	0,07	1,04	0	0	0	0
Орнитин	1,38	0,87	3,33	10,65	11,27	6,31
Фенилаланин (НАК)	3,48	1,72	0	1,52	0	0
Пролин	4,63	1,55	0	6,16	6,24	7,77
Серин	7,02	2,78	7,33	16,74	17,38	0
Таурин	2,24	34,62	11,33	9,13	10,29	31,07
Треонин (НАК)	3,48	2,13	0	3,81	0	0
Триптофан (НАК)	0	0	0	0	0	0
Тирозин	1,74	1,91	0	1,45	0	0
Валин (НАК)	2,97	2,97	5,33	2,51	3,14	4,85
Сумма	100	100	100	100	100	100
Сумма незаменимых аминокислот (НАК)	26,87	33,79	55,67	16,06	16,34	4,85

Важным результатом применения полученных добавок является существенное повышение содержания незаменимых аминокислот в комбикормах. Так, в контрольном образце сумма НАК составила всего 4,85 % всех аминокислот, тогда как при внесении добавок их количество возросло до 16,06–16,34 %.

Таким образом, на основании данных по жирнокислотному составу липидов и аминокислотному составу протеинов полученных комбикормов можно заключить, что введение кормовых добавок в количестве 5–10 % в базовую рецептуру комбикормов для лососевых потенциально соответствует потребностям мальков сиговых.

Результаты рыбоводно-биологических испытаний экспериментальных стартовых кормов для мальков лососевых представлены в табл. 6, 7. Полученные рыбоводные показатели свидетельствуют о физиологической эффективности шпротных добавок в составе комбикормов при выращивании мальков сиговых.

Таблица 6. Рыбоводные показатели сравнительного выращивания мальков сиговых с применением контрольных и экспериментальных комбикормов, полученных при добавлении 5%-ной пептидно-протеиновой добавки

Table 6. Fish breeding indicators of the comparative rearing of whitefish fry with the use of control and experimental compound feed obtained with the addition of 5% peptide-protein supplement

Показатели роста мальков сига	Контрольная группа мальков	Экспериментальная группа мальков	Прирост показателя, %
Исходная масса, г	1,00 ± 0,38	1,06 ± 0,37	+9
Выживаемость мальков, %	81,33 ± 4,12	88,67 ± 3,31	+8,3
Конечная масса тела, г	2,73 ± 1,53	3,00 ± 1,20	+9,9
Прирост массы тела, %	1,73 ± 1,52	1,94 ± 1,21	+12,1
Кормовой коэффициент	3,13±0,35	2,78±0,26	-11,2
Удельная скорость роста, г/см	1,79 ± 0,10	1,86 ± 0,27	+3,9

Исходя из данных табл. 6 по рыбоводным показателям можно утверждать об эффективности ввода в состав стартовых комбикормов сиговых пептидно-протеиновой добавки в количестве 5 % в качестве источника активных низкомолекулярных пептидов и незаменимых аминокислот. Данный эффект объясняется не только повышенной аминокислотной сбалансированностью вводимой добавки, но и эффективным физиологическим действием биологически активных пептидов. Сегодня доказана физиологическая роль пептидов в механизмах регуляции гомеостаза и адаптации функциональных систем организма к окружающей среде, а также их значение в функционировании регуляторного пептидного каскада [13].

Из данных табл. 7 видно, что внесение в комбикорма 10 %-ной белково-минеральной добавки способствует приросту массы мальков лососевых, их выживаемости, удельной скорости роста, а также уменьшению кормового коэффициента. Данный эффект можно объяснить поликомпонентным химическим составом добавки (табл. 2), представленным не только протеинами с высоким содержанием незаменимых аминокислот (табл. 5), но и наличием эссенциальных минеральных

веществ (кальция и фосфора) на уровне 20 %, положительно влияющих на формирование костного организма мальков.

Таблица 7. Рыбоводные показатели сравнительного выращивания мальков сиговых с применением контрольных и экспериментальных комбикормов, полученных при добавлении 10%-ной белково-жиро-минеральной добавки
Table 7. Fish breeding indicators of comparative rearing of whitefish fry with the use of control and experimental compound feeds obtained by adding 10% protein-fat-mineral supplement

Показатели роста	Контрольная группа мальков	Экспериментальная группа мальков	Изменение показателя, %
Исходная масса, г	3,47±1,12	3,49±1,12	+0,61
Конечная масса, г	6,21±2,78	7,04±3,40	+13,3
Прирост, г	2,74±0,98	3,55±1,08	+29,6
Выживаемость, %	92,00±3,10	92,20±1,40	+0,22
Кормовой коэффициент	2,15±0,5	1,61±0,2	-11,7
Удельная скорость роста, %	1,03±0,10	1,25±0,25	+21,4

Проведенные исследования свидетельствуют о высоком биопотенциале кормовых добавок, получаемых из шпротных голов методом глубокого термического гидролиза, а также о рациональности их применения в составе комбикормов для лососевых в качестве источника ценных аминокислот, активных пептидов, жирных кислот и минеральных веществ. Целесообразно далее проводить данные исследования с повышением дозировок вводимых кормовых добавок и изучением морфобиологических и гематологических показателей рыб.

В результате проведенных исследований разработаны технические документы, регламентирующие процесс изготовления, качество и безопасность биологически ценных кормовых добавок из шпротных отходов: Технические условия ТУ 10.13.15.196-001-00471544-2021 и Технологическая инструкция (ТИ к ТУ) "Добавка кормовая пептидно-протеиновая на основе гидролизата вторичного шпротного сырья"; Технические условия ТУ 10.13.15.196-002-00471544-2021 и Технологическая инструкция (ТИ к ТУ) "Добавка кормовая белково-жиро-минеральная на основе гидролизата вторичного шпротного сырья".

ВЫВОДЫ

1. Обоснована актуальность переработки шпротных отходов (голов копченой кильки) с применением высокотемпературного гидролиза на кормовые биодобавки пептидно-протеинового и белково-жиро-минерального состава. Установлено высокое содержание в данном сырье ценных биологически активных веществ (белков, жиров, минеральных веществ: соответственно 60,9–82,7 %; 8,6–20,1 %; 2,0–11,0 %.)

2. Исследованы аминокислотный состав протеинов, жирнокислотный – липидов, содержание минеральных веществ в полученных из шпротного сырья кормовых добавках. Установлено повышенное содержание в них незаменимых

аминокислот (33,79 и 55,67 % массы протеинов), положительно влияющих на аминокислотную сбалансированность протеинов в комбикормах с их применением. Определено высокое содержание полиненасыщенных жирных кислот класса омега-3 в пептидно-протеиновой добавке (33,9 %), что способствовало повышению их содержания в кормах с 15,1 до 22,7 %. Установлено высокое содержание в белково-жиро-минеральной добавке олеиновой кислоты (35,2 %), что повлияло на рост ее количественного содержания в корме с 17,9 до 19,3 %.

3. Доказана физиологическая эффективность применения шпротных пептидных добавок в составе стартовых комбикормов для мальков сиговых, выращиваемых в индустриальной аквакультуре Калининградской области. Установлены положительные ростовые, весовые, физиологические показатели мальков, свидетельствующие о рациональности введения в состав комбикормов 5%-ной пептидно-протеиновой и 10% -ной белково-жиро-минеральной добавок.

4. Разработаны технические документы для получения кормовых добавок повышенной биологической ценности из шпротных отходов, а также кормов с их применением.

Список источников

1. Васильев А. М., Александрова М. А. Проблемы и перспективы развития марикультуры атлантического лосося в Российской Арктике // Арктика и Север. 2021. № 43. С. 5–18.
2. Щербина М. А., Гамыгин Е. А. Кормление рыб в пресноводной аквакультуре. Москва: Изд-во ВНИРО, 2006. 360 с.
3. Остроумова И. Н. Биологические основы кормления рыб. Изд-е 2-е, испр. и доп. Санкт-Петербург: ГосНИОРХ, 2012. 564 с.
4. Шибяев Л. В. Эколого-биологические и биотехнологические основы воспроизводства сига (*Coregonus lavaretus* L.) Куршского залива Балтийского моря: дис...канд. биол. наук: 03.02.06: утв. 2017. Калининград, 2016. 160 с.
5. Мезенова О. Я., Хелинг А., Мерзель Т. Биопотенциал вторичного рыбного сырья // Известия вузов. Пищевая технология. 2018. № 1. С. 11–18.
6. Применение продуктов гидролиза шпротных отходов при кормлении европейского сига *Coregonus lavaretus* в аквакультуре / О. Я. Мезенова, Д. С. Пьянов, С. В. Агафонова, Н. Ю. Романенко, В. В. Волков, Н. С. Калинина // Рыбное хозяйство. 2022. № 3. С. 54–61.
7. Способ получения пищевых добавок из вторичного копченого рыбного сырья: пат. 2681352 Рос. Федерация / Мезенова О. Я., Байдалинова Л. С., Агафонова С. В., Мезенова Н. Ю., Городниченко Л. В., Калинина Н. С., Волков В. В., Гримм Т., Хелинг А.; заявл. 22.01.20, опубл. 22.07.20. Бюл. № 21. 12 с.
8. Биоактивные белки и пептиды: современное состояние и новые тенденции практического применения в пищевой промышленности и кормопроизводстве / Д. В. Гришин, О. В. Подобед, Ю. А. Гладилина, М. В. Покровская, С. С. Александрова и др. // Вопросы питания. 2017. Том 86. № 3. С. 20–31.
9. Мезенова О. Я. Биотехнологические способы получения протеиновых и белково-минеральных добавок из вторичного рыбного сырья копильных производств // Известия вузов. Пищевая технология. 2019. № 2–3. С. 68–71.

10. Состояние запасов, факторы внешней среды и эффективность воспроизводства популяции анчоусовидной кильки (*Clupeonella engrauliformis* Borodin) в современных условиях / В. П. Разинков, Ю. А. Парицкий, А. В. Михайлова, А. С. Хурсанов, Ю. Н. Грозеску // Рыбное хозяйство. № 6. 2021. С. 76–80.

11. Лютиков А. А. Введение жирных кислот ряда омега-3 в состав кормов для личинок муксуна // Вопросы рыболовства. 2019. Т. 20. № 1. С. 123–127.

12. Хныченко Л. К., Сапронов Н. С. Фармакологическая активность аминокислоты таурин // Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии. 2004. Т. 3. № 4. С. 13–19.

13. Bioactivities of fish protein hydrolysates from defatted salmon backbones / R. Slizyte, K. Rommi, R. Mozuraityte, P. Eck, K. Five, T. Rustad // Biotechnology Reports. 2016. V. 11. P. 99–109.

References

1. Vasil'ev A. M., Aleksandrova M. A. Problemy i perspektivy razvitiya marikul'tury atlanticheskogo lososya v Rossiyskoy Arktike [Problems and prospects for the development of Atlantic salmon mariculture in the Russian Arctic]. *Arktika i Sever*. 2021, no. 43, pp. 5–18.

2. Shcherbina M. A., Gamygin E. A. *Kormleniye ryb v presnovodnoy akvakul'ture* [Feeding fish in freshwater aquaculture]. Moscow, VNIRO Publ., 2006, 360 p.

3. Ostroumova I. N. *Biologicheskiye osnovy kormleniya ryb* [Biological basis of fish feeding]. Saint-Petersburg, GosNIORKh Publ., 2012, 564 p.

4. Shibaev L. V. *Ekologo-biologicheskiye i biotekhnologicheskiye osnovy vosproizvodstva siga (Coregonus Lavaretus L.) Kurshskogo zaliva Baltiyskogo moray. Diss. dokt. biol. nauk* [Ecological, biological and biotechnological bases for the reproduction of whitefish (*Coregonus Lavaretus* L.) in the Curonian Lagoon of the Baltic Sea. Dis. dr. biol. sci.]. Kaliningrad, 2016, 160 p.

5. Mezenova O. Ya., Heling A., Moerzel T. Biopotentsial vtorichnogo rybnogo syr'ya [Biopotential of secondary fish raw materials]. *Izvestiya vuzov. Food technology*. 2018, no. 1, pp. 11–18.

6. Mezenova O. Ya., Pyanov D. S., Agafonova S. V., Romanenko N. Yu., Volkov V. V., Kalinina N. S. Primeneniye produktov gidroliza shprotnykh otkhodov pri kormlenii yevropeyskogo siga *Coregonus lavaretus* v akvakul'ture [Application of hydrolysis products of sprat waste when feeding the European whitefish *Coregonus lavaretus* in aquaculture]. *Fisheries*. 2022, no. 3, pp. 54–61.

7. Mezenova O. Ya., Baydalinova L. S., Agafonova S. V., Mezenova N. Yu., Gorodnichenko L. V., Kalinina N. S., Volkov V. V., Grimm T., Höling A. Sposob polucheniya pishchevykh dobavok iz vtorichnogo kopchenogo rybnogo syr'ya [Method for obtaining food additives from secondary smoked fish raw materials]. Patent RF, no. 2681352 / 07, 2020.

8. Grishin D. V., Podobed O. V., Gladilina Yu. A., Pokrovskaya M. V., Aleksandrova S. S. et al. Bioaktivnyye belki i peptidy: sovremennoye sostoyaniye i novyye tendentsii prakticheskogo primeneniya v pishchevoy promyshlennosti i kormoproduktse [Bioactive proteins and peptides: current state and new trends in practical ap-

plication in the food industry and feed production]. *Food Issues*. 2017, vol. 86, no. 3, pp. 20–31.

9. Mezenova O. Ya. Biotekhnologicheskie sposoby polucheniya proteinovykh i belkovo-mineral'nykh dobavok iz vtorichnogo rybnogo syr'ya koptil'nykh proizvodstv [Biotechnological methods for obtaining protein and protein-mineral supplements from secondary fish raw materials of smoke production]. *Izvestiya vuzov. Food technology*. 2019, no. 2–3, pp. 68–71.

10. Razinkov V. P., Paritsky Yu. A., Mikhailova A. V., Khursanov A. S., Grosescu Yu. N. Sostoyaniye zapasov, faktory vneshney sredy i effektivnost' vosproizvodstva populyatsii anchousovidnoy kil'ki (*Clupeonella engrauliformis* Borodin) v sovremennykh usloviyakh [The state of stocks, environmental factors and efficiency of reproduction of the population of anchovy kilka (*Clupeonella engrauliformis* Borodin) in modern conditions]. *Fisheries*. 2021, no. 6, pp. 76–80.

11. Lyutikov A. A. Vvedeniye zhirnykh kislot ryada omega-3 v sostav kormov dlya lichinok muksuna [Introduction of fatty acids of the omega-3 series into the composition of feed for muksun larvae]. *Problems of fishing*. 2019, vol. 20, no. 1, pp. 123–127.

12. Khnychenko L. K., Sapronov N. S. Farmakologicheskaya aktivnost' aminokisloty taurin [Pharmacological activity of the amino acid taurine]. *Obzory po klinicheskoy farmakologii i lekarstvennoy terapii*. 2004, vol. 3, no. 4, pp. 13–19.

13. Slizyte R., Rommi K., Mozuraityte R., Eck P., Five K., Rustad T. Bioactivities of fish protein hydrolysates from defatted salmon backbones. *Biotechnology Reports*. 2016, vol. 11, pp. 99–109.

Информация об авторах

О. Я. Мезенова – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой пищевой биотехнологии

Д. С. Пьянов – кандидат биологических наук, начальник сектора аквакультуры

С. В. Агафонова – кандидат технических наук, доцент кафедры пищевой биотехнологии

Н. Ю. Романенко – кандидат технических наук, доцент кафедры пищевой биотехнологии

В. В. Волков – директор Центра передовых технологий использования белков

Н. С. Калинина – заведующая лабораториями

Й.-Т. Мерзель – генеральный директор

Information about the authors

O. Ya. Mezenova – Doctor of Sciences in Engineering, Professor, Head of the Department of Food Biotechnology

D. S. Pyanov – PhD in Biological Sciences, Head of Aquaculture Sector

S. V. Agafonova – PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Food Biotechnology

N. Yu. Romanenko – PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Food Biotechnology

V. V. Volkov – Director of the Center for Advanced Technologies in the Use of Protein

J.-T. Moerzel – Doctor of Sciences Chemistry, Managing Director

Статья поступила в редакцию 10.08.2022; одобрена после рецензирования 15.08.2022; принята к публикации 16.09.2022.

The article was submitted 10.08.2022; approved after reviewing 15.08.2022; accepted for publication 16.09.2022.