Научная статья
УДК 639.385(06)
DOI 10.46845/1997-3071-2024-72-70-80

Разработка способа получения пищевой добавки на основе нерестовой чешуи салаки

Виктор Иванович Воробьев[1], Ольга Павловна Чернега[2], Елена Владимировна Нижникова[3]
[1,2,3]Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия
[1]viktor.vorobev@klgtu.ru, https://orcid.org/0000-0001-8209-7851
[2]olga.chernega@klgtu.ru, https://orcid.org/0000-0002-4150-2731
[3]elena.nizhnikova@klgtu.ru https://orcid.org/0000-0002-2209-7937

Аннотация. Исследование направлено на разработку экономически приемлемого способа, позволяющего вовлечь практически неиспользуемый побочный продукт переработки нерестовой салаки, чешую с прочно прикрепленной к ней икрой в промышленное производство пищевых добавок. Определены общий химический состав высушенной нерестовой чешуи салаки (белок – 67,89 %, зола – 19,08 %, жир – 0,14 %, влага – 12,10 %), а также очищенной от икры чешуи (белок – 38,01 %, зола – 48,27 %, жир – 0,20 %, влага –12,90 %). Выявлено, что процесс высушивания нерестовой чешуи салаки горячим воздухом сопровождается образованием комков, которые необходимо постоянно измельчать. Последующее измельчение ножевой мельницей полученного высушенного продукта приводит к быстрому образованию монолитной пластичной массы и остановке оборудования. С целью оптимизации процесса сушки и последующего измельчения предложено перед обработкой смешивать нерестовую чешую салаки с растительным сырьем (дробленой пшеницей) в массовом соотношении 30:70, что способствует предотвращению образования комков и сокращает продолжительность процесса обезвоживания, а также позволяет измельчить высушенную смесь до состояния муки, имеющей незначительную крупитчатость. Полученный продукт в виде муки был использован в качестве панировочной смеси для кулинарных полуфабрикатов (охлажденного филе окуня и трески, морковных и мясных котлет, творожников) перед их термообработкой. Представлено изменение массы опытных и контрольных (панировка пшеничной мукой) образцов кулинарных изделий до и после их обжарки в масле. Показано, что панировочная смесь, состоящая из нерестовой чешуи салаки и пшеницы, улучшает органолептические показатели качества и снижает потери массы кулинарных полуфабрикатов в процессе их обжарки по сравнению с контролем.

Ключевые слова: рыбья чешуя, пищевая добавка, икра салаки, панировочная смесь, кулинарные полуфабрикаты.

© Воробьев В. И., Чернега О. П., Нижникова Е. В., 2024

Финансирование: Исследование осуществлялось в рамках проекта Федерального агентства по рыболовству (Министерство сельского хозяйства Российской Федерации) с рег. № 122030900086-1 от 09.03.2022, код 01-32-05-1 «Развитие и совершенствование производственных систем пищевой промышленности».

Для цитирования: Воробьев В. И., Чернега О. П., Нижникова Е. В. Разработка способа получения пищевой добавки на основе нерестовой чешуи салаки // Известия КГТУ. 2024. № 72. С. 70–80. DOI 10.46845/1997-3071-2024-72-70-80.

Original article

Development of a method for producing a food additive based on spawning scales of Baltic herring

Viktor I. Vorob'ev[1], Ol'ga P. Chernega[2], Elena V. Nizhnikova[3]
[1,2,3]Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia
[1]viktor.vorobev @klgtu.ru, https://orcid.org/0000-0001-8209-7851
[2]olga.chernega@klgtu.ru, https://orcid.org/0000-0002-4150-2731
[3]elena.nizhnikova@klgtu.ru, https://orcid.org/0000-0002-2209-7937

Abstract. The research is aimed at developing an economically acceptable way to involve a practically unused by-product of the processing of spawning Baltic herring, scales with its caviar firmly attached to it, into the industrial production of food additives. The general chemical composition of dried herring spawning scales has been determined (protein – 67.89%, ash – 19.08%, fat – 0.14%, moisture – 12.10%), as well as its scales cleaned from caviar (protein – 38 .01%, ash – 48.27%, fat – 0.20%, moisture – 12.90%). It has been revealed that the process of drying (hot air) of herring spawning scales is accompanied by the formation of lumps, which must be constantly crushed. Subsequent grinding (knife mill) of the resulting dried product leads to the rapid formation of a monolithic plastic mass and stopping the equipment. In order to optimize the drying process and subsequent grinding, it has been proposed to mix the spawning scales of herring with plant raw materials (crushed wheat) in a mass ratio of 30:70 before processing, which helps prevent the formation of lumps and reduces the duration of the dehydration process, and also allows Grind the dried mixture to a slightly coarse flour. The resulting product, in the form of flour, has been used as a breading mixture for semi-finished culinary products (chilled perch and cod fillets, carrot and meat cutlets, cottage cheese) before their heat treatment. The paper presents changes in mass of experimental and control (breaded with wheat flour) samples of culinary products before and after frying in oil. It has been shown that a breading mixture consisting of spawning scales of herring and wheat improves organoleptic quality indicators and reduces weight loss of culinary semi-finished products during frying compared to the control.

Keywords: fish scales, food additive, herring caviar, breading mixture, culinary semi-finished products.

Funding: The research was carried out within the framework of the project of the Federal Agency for Fishery (Ministry of Agriculture of the Russian Federation) with

reg. № 122030900086-1 from 03.09.2022, code 01-32-05-1 "Development and improvement of production systems of food industry"**.**

For citation: Vorob'ev V. I., Chernega O. P., Nizhnikova E. V. Development of a method for producing a food additive based on spawning scales of Baltic herring. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2024; (72) : 70–80. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2024-72-70-80.

ВВЕДЕНИЕ

Международный совет по исследованию морей (ICES) 31 мая 2023 г. опубликовал научные рекомендации по резкому сокращению промысла балтийской сельди, или салаки (Clupea harengus membras), путем сокращения квоты на вылов примерно на 50 % по сравнению с 2023 годом, так как ее запасы находятся на очень низком уровне [1].

При этом, по данным Института природных ресурсов (Финляндия, 2021 г.), только около 3 % от общего вылова салаки идет в пищу, остальное количество поступает на корм пушным зверям и разводимой рыбе, а также на производство рыбной муки (на Финляндию и Швецию приходится более 50 % всего вылова салаки) [2, 3].

Основным аргументом непищевого применения салаки является высокий уровень диоксина и полихлорбиофенила (ПХБ) в Балтийском море, хотя лосось, камбала, треска, килька, выловленные в данной акватории, практически полностью используются в пищевом направлении [3, 4]. Кроме того, за последние 40 лет уровень токсинов в Балтийском море снизился до 80 %, особенно у мелкой рыбы [5, 6]. Проведенные исследования по определению концентрации диоксинов у салаки длиной менее 19 см показали, что они ниже пороговых значений, установленных Европейским союзом, и имеют тенденцию к дальнейшему снижению [6].

Быстрый рост населения планеты и увеличивающийся дефицит животного белка требуют изыскания безотходных технологий, позволяющих перерабатывать рыбу и побочные продукты ее переработки на пищевые цели экономически приемлемыми способами.

В процессе вылова нерестовой салаки и последующей ее мойки образуется значительное количество (исчисляется в тоннах) легко отделяющейся от рыбы чешуи и икры, прочно удерживаемой на ее поверхности, которые практически не используются.

Известен способ переработки рыбьей чешуи, когда после предварительной очистки и сушки чешую измельчают и сепарируют, получая коллагенсодержащую добавку, используемую в рецептурах различной пищевой продукции (хлебобулочные изделия и др.) [7,8].

Учитывая высокую биологическую ценность икры салаки и ее чешуи как источника коллагена и гидроксиапатита кальция, являющегося основой костей, зубов животных и человека, возникает необходимость разработки технологии, способствующей созданию новой пищевой продукции из побочных продуктов переработки рыбы [9].

Промышленная переработка чешуи салаки с прилипшей к ней ее икрой позволит получить новую белковую пищевую добавку и снизить негативную антропогенную нагрузку на окружающую среду.

Цель работы – разработка экономически приемлемого способа получения пищевой продукции с использованием нерестовой чешуи салаки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Сырьем для исследований являлась чешуя нерестовой салаки (Clupea harengus membras) с прилипшей к ней ее икрой, полученная в процессе обработки рыбы на рыбокомбинате «За Родину» (п. Взморье, Калининградская обл.). Общий химический анализ образцов чешуи салаки (влага, жир, белок, зола) определялся в сертифицированной испытательной лаборатории ООО «Калининградский испытательный центр» в соответствии с нормативной документацией[1].

Наработка опытных и контрольных образцов кулинарной продукции осуществлялась в лабораториях кафедр продуктов питания и органической химии Калининградского государственного технического университета (КГТУ).

Потери сырья при обжарке панированных полуфабрикатов, а также органолептическую оценку опытных образцов полученной кулинарной продукции определяли стандартными и общепринятыми методами[2,3].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что белки рыбьей чешуи обладают достаточно высокой биологической ценностью (88,42 % и 89,50 % соответственно у горбуши и толстолобика) по сравнению с другими субпродуктами этих рыб (67,03–85,52 % – головы, жабры, кости, кожа, плавники, внутренности), образующимися при разделке гидробионтов [10]. Рыбья чешуя имеет жесткую иерархическую структуру «фанерного» типа, представленную поверхностным высокоминерализованным (костным) слоем, состоящим преимущественно из гидроксиапатита кальция, и внутренним (базальным) в виде плотно упакованных пучков коллагеновых волокон (ламелей), образующих слои (ламинаты) [11–15]. Для снижения жесткости чешуи рыб и использования в пищевых целях осуществляют ее гидролиз (кислотный, щелочной, ферментативный, термический), что значительно увеличивает себестоимость конечной продукции и существенно ограничивает ее производство в промышленных масштабах. Для устранения указанных недостатков был разработан экономически приемлемый способ переработки рыбьей чешуи нерестовой салаки с прилипшей к ней ее икрой (ЧИС), где отсутствовал процесс гидролиза.

Чешуя салаки представляет собой тонкую пластинку площадью 4–10 мм^2, по форме близкую к эллипсоиду.

---

[1] ГОСТ 7636-85 (2010) «Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа». М.: Стандартинформ.

[2] ГОСТ 31988-2012 (2019) «Услуги общественного питания. Метод расчета отходов и потерь сырья и пищевых продуктов при производстве продукции общественного питания». М.: Стандартинформ.

[3] ГОСТ 31986-2012 (2019) «Услуги общественного питания. Метод органолептической оценки качества продукции общественного питания». М.: Стандартинформ.

Внешний вид высушенной ЧИС и механически очищенной от икры чешуи салаки (кратковременная обработка высушенной ЧИС в высокоскоростном ножевом измельчителе (5 с) с последующим сепарированием (сито 2 мм) и отделением икры) показан на рис. 1.

Рис. 1. Внешний вид высушенной нерестовой чешуи салаки с ее икрой (слева) и очищенной от икры чешуи (справа)
Fig. 1. Appearance of dried spawning scales of Baltic herring with eggs (left) and scales cleaned from eggs

Общий химический состав высушенной ЧИС и механически очищенной от ее икры чешуи салаки представлен в табл. 1.

Таблица 1. Общий химический состав высушенной ЧИС и механически очищенной от ее икры чешуи салаки
Table 1. General chemical composition of dried BHSS and mechanically cleaned Baltic herring scales from herring eggs

Сырье	Массовая доля, %			
	белка	золы	воды	жира
Нерестовая чешуя салаки с прилипшей к ней ее икрой (ЧИС)	67,89	19,08	12,10	0,14
Нерестовая чешуя салаки, механически очищенная от прилипшей к ней ее икры	38,01	48,27	12,90	0,20

Как видно из табл. 1, высушенная нерестовая чешуя салаки с прилипшей к ней ее икрой имеет более высокую массовую долю белка (67,89 %) и пониженную – золы (19,08 %) по сравнению с чешуей, очищенной от икры (соответственно 38,01 % и 48,27%).

Предлагаемый способ переработки заключался в предварительной промывке ЧИС и ее последующей сушке воздухом (60 °С) до влажности не более 13 %. В процессе сушки ЧИС образовывались комки (ввиду высокой клеящей способности икры), которые необходимо было измельчать, что значительно увеличивало продолжительность сушки и способствовало снижению качества получаемого продукта. Последующее измельчение высушенной чешуи с икрой при помощи ножевого измельчителя приводило к быстрому образованию монолитной пластич-

ной массы и остановке оборудования. Поэтому перед сушкой ЧИС смешивали с растительным сырьем в виде дробленого зерна пшеницы в массовом соотношении 30:70, полученную смесь обезвоживали (электросушилка Clatronic DR 275) и измельчали в высокоскоростном мультифункциональном измельчителе (чаша 0,8 литра, 36000 об./мин, 3000 Вт, производитель Zhejiang Winki Plastic Co., Ltd., Китай). Высушивание ЧИС с растительным сырьем значительно сокращало продолжительность процесса обезвоживания и предотвращало образование комков, а также способствовало получению однородной смеси, имеющей незначительную крупитчатость (далее по тексту ЧНС) в процессе последующего ее измельчения.

ЧНС может быть использована как пищевая добавка в составе хлебобулочных и кондитерских изделий или в качестве панировки при изготовлении различных кулинарных полуфабрикатов. Панировочная смесь ЧНС показана на рис. 2.

Рис. 2. Панировочная смесь ЧНС
Fig. 2. SSBHW breading mixture

ЧНС в качестве панировки была использована при получении следующих кулинарных полуфабрикатов: филе окуня и трески, котлет мясных и морковных, творожников.

Опытные (ЧНС) и контрольные (К) образцы панированных полуфабрикатов представлены на рис. 3.

Рис. 3. Внешний вид опытных (ЧНС) и контрольных (К) образцов панированных полуфабрикатов
Fig. 3. Appearance of experimental (SSBHW) and control (K)) samples of breading semi-finished products

Рецептуры панированных кулинарных полуфабрикатов и режимы их термообработки:

• котлеты из фарша «Домашний» (ООО «KLD», г. Калининград) в панировке (говядина, свинина – 500 г (соотношение 50/50), яйцо куриное – 40 г, соль, перец) обжаривали на сковороде с растительным маслом 7–10 мин при температуре 85 °С;

• морковные котлеты в панировке (морковь – 700 г, манная крупа – 100 г, соль, перец) также обжаривали в растительном масле 4 мин при температуре 75 °С;

• творожники (творог – 300 г, сахар –15 г, яйцо куриное – 40 г) готовили на сковороде с растительным маслом 5–7 мин, температура 85 °С;

• панированное филе рыбы (окуня, трески) обжаривали в растительном масле в течение 7–10 мин при температуре 82 °С.

Перед панировкой полуфабрикаты спрыскивали лимонным соком. В качестве контроля при панировке использовали пшеничную муку.

Массу полуфабриката в панировке при обжарке определяли с учетом потерь при остывании до температуры 40 °С, в процентах к массе исходного полуфабриката.

Изменение массы полученных кулинарных изделий, панированных ЧНС (филе окуня и трески, котлеты мясные из фарша «Домашний» и морковные, творожники), до и после обжарки на сковороде с растительным маслом, а также их контроля представлены в табл. 2.

Таблица 2. Изменение массы опытных (ЧНС) и контрольных (К) образцов панированных кулинарных изделий (филе окуня и трески, котлеты мясные из фарша «Домашний» и морковные, творожники) до и после обжарки на сковороде с растительным маслом

Table 2. Change in the weight of experimental (SSBHW) and control (K) samples of breading culinary products (perch and cod fillets, meat cutlets from Domashny and carrot minced meat, cottage cheese) before and after frying, in a frying pan with vegetable oil

Панировка	Кулинарный полуфабрикат (п/ф)				
	Масса п/ф, г	Масса панировки, г	Масса п/ф в панировке до жарения, г	Масса п/ф после жарения, г	Потери (–) и прирост (+) массы п/ф после жарения, %
Филе окуня					
Контроль	35,5	2,0	37,5	32,0	–14,6
ЧНС	30,0	4,0	34,0	31,0	–8,8
Филе трески					
Контроль	97,0	1,0	98,0	79,0	–19,4
ЧНС	72,0	2,5	74,5	69,5	–6,7

Котлеты из фарша «Домашний»					
Контроль	80,0	1,5	81,5	54,5	–33,1
ЧНС	97,0	5,0	102,0	78,5	–23,0
Морковные котлеты					
Контроль	70,0	3,5	73,5	71,5	–2,7
ЧНС	70,0	3,5	73,5	78,8	+2,3
Творожники					
Контроль	70,0	2,0	72,0	64,5	–10,4
ЧНС	79,0	5,0	84,0	87,0	+3,5

Как видно из табл. 2, опытные образцы полуфабрикатов с ЧНС имеют более низкие значения технологических потерь при тепловой обработке по сравнению с контролем, что обусловлено наличием в их составе коллагена и икры рыб, обладающих повышенными адгезивными свойствами.

Прирост массы готового изделия с ЧНС по сравнению с исходным полуфабрикатом (морковные котлеты, творожники) связан с поглощением панировкой части растительного масла, применяемого при жарке.

При органолептической оценке готовой кулинарной продукции обращали внимание на внешний вид (форму, состояние поверхности), консистенцию, вкус и запах готового изделия, цвет продукта после обжаривания, наличие хруста панировки при разжевывании. Органолептическая оценка опытных и контрольных образцов кулинарных изделий представлена ниже.

• филе (треска, окунь) с ЧНС: консистенция сочная, нежная, панировка не отстает от продукта, равномерно покрывает его, хруст выражен незначительно, цвет светло-золотистый, вкус образовавшейся поверхностной корочки нейтральный, не перебивает рыбный флейвор готового изделия;

• контроль: консистенция филе сочная, нежная, панировка не отстает от продукта, равномерно его покрывая, хруст отсутствует, цвет золотистый;

• мясные котлеты с ЧНС: изделия округло-овальной формы, поверхность без разорванных и ломаных краев, равномерно панированная, с поджаренной корочкой золотисто-коричневого цвета, нежная сочная консистенция, без привкуса и аромата рыбы, хруст панировки при разжевывании, запах и вкус, соответствующий котлетам из мяса;

• контроль: менее сочная консистенция и отсутствие хруста панировки при разжевывании;

• морковные котлеты с ЧНС: органолептические показатели аналогичны мясным котлетам, запах и вкус, соответствующий морковным котлетам;

• творожники с ЧНС: образцы сохранили форму после термообработки, панировка прочно удерживается на поверхности изделий, обеспечивая необходимую сочность готовой продукции;

• контроль: образцы потеряли форму (развалились), имея непривлекательный внешний вид.

Необходимо отметить, что отсутствие рыбного запаха и вкуса ЧНС делает данную добавку универсальной, позволяя использовать ее в сочетании с компонентами различного (рыбного, животного и растительного) происхождения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан экономически приемлемый способ переработки ЧИС (без предварительного гидролиза сырья), способствующий получению пищевой добавки, используемой в рецептурах различной кулинарной продукции.

Вовлечение ЧИС в промышленное производство пищевой продукции позволит расширить ассортиментную линейку выпускаемых кулинарных изделий и снизить экологическую нагрузку на окружающую среду.

Список источников

1. Scientific Advice states that Baltic Sea herring stocks are below safe levels. NGOs: "stop while there is still time" URL: https://www.fishsec.org/2023/06/03/scientific-advice-states-that-baltic-sea-herring-stocks-are-below-safe-levels-ngos-stop-while-there (дата обращения: 15.08.2023).

2. Baltic herring (Clupea harengus membras) protein isolate produced using the pH-shift process and its application in food models / T. Kakko et al. // Food Research International. 2022. V. 158. P. 111578, https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111578.

3. Comparison of whole and gutted Baltic Herring as a raw material for restructured fish product produced by high-moisture extrusion cooking / A. Nisov et al. // Foods. 2020. V. 9. N 11. P. 1541, https://doi.org/10.3390/foods9111541.

4. Setälä J., Saarni K., Niukko J. Fish Market Review 2017 URL: https://www.luke.fi/wp-content/uploads/2019/05/Fish-market-review-2017.pdf (дата обращения: 15.08.2023).

5. Forage fish as food: consumer perceptions on Baltic herring / M. Pihlajamäki et al. // Sustainability. 2019. V. 11. N 16. P. 4298, https://doi.org/10.3390/su11164298.

6. Rantakokko P., Peltonen H., Leskelä A., Hakalax R., Myllylä T., Lerche K.-O., Kiviranta H. Kalojen Vierasaineiden ja Vesiympäristön Tilan Seurannat Kustannustehokkaammiksi Tutkijoiden ja Kalastuselinkeinon Yhteistyöllä (KALAKAS) // URL: http://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/138790/KALAKAS-Loppuraportti_2019-11-05.pdf?sequence=1&isAllowed=y (дата обращения: 12.08.2023).

7. Способ обработки рыбьей чешуи для получения коллагена и гидроксиапатита: выложенная заявка. № 2021116247 / Воробьев В. И.; заявл. 03.06.21; опубл. 05.12. 22. Бюл. 34. 2 с.

8. Способ приготовления хлеба с рыбной добавкой: пат. РФ № 2785619 / Воробьев В. И., Чернега О. П., Фатыхов Ю. А., Нижникова Е. В.; заявл. 12.09.22; опубл. 09.12.22. Бюл. № 34. 10 с.

9. Лютова Е. В., Ключко Н. Ю. Изучение биологической ценности икры и молок сельди как сырья для приготовления плавленых сыров // Вестник Астраханского государственного технического университета. 2013. № 3. С. 116–123.

10. Соколов А. В. Научное обоснование комплексной переработки вторичного сырья рыбной промышленности: состав, свойства и инновационные технологии: дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.04. Воронеж, 2021. 457 с.

11. Structural and mechanical properties of fish scales for the bio-inspired design of flexible body armors: A review / P. Rawat. et al. // Acta Biomaterialia. 2021. V. 121. P. 41–67, https://doi.org/10.1016/j.actbio.2020.12.003.

12. Comparison of the morphology, structures and mechanical properties of teleost fish scales collected from New Zealand / D Zhu. et al. // Journal of Bionic Engineering. 2019. V. 16. P. 328–336, https://doi.org/10.1007/s42235-019-0028-1.

13. Development and application of fish scale wastes as versatile natural biomaterials / D. Qin. et al. // Chemical Engineering Journal. 2022. V. 428. P. 131102, https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.131102.

14. Importance of radial line and circulus distributions to the protectoflexibility of scales in fish armors / H. Jiang et al. // Cell Reports Physical Science. 2022. V. 3. N 9. P. 101022, https://doi.org/10.1016/j.xcrp.2022.101022.

15. Yang W., Meyers M. A., Ritchie R. O. Structural architectures with toughening mechanisms in Nature: A review of the materials science of Type-I collagenous materials // Progress in Materials Science. 2019. V. 103. P. 425–483, https://doi.org/10.1016/ j.pmatsci.2019.01.002.

References

1. Scientific Advice states that Baltic Sea herring stocks are below safe levels. NGOs: "stop while there is still time", available at: https://www.fishsec.org/2023/06/03/scientific-advice-states-that-baltic-sea-herring-stocks-are-below-safe-levels-ngos-stop-while-there (Accessed 15 August 2023).

2. Kakko T. [et al.]. Baltic herring (Clupea harengus membras) protein isolate produced using the pH-shift process and its application in food models. *Food Research International*. 2022, vol. 158, pp. 111578, https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111578.

3. Nisov A. [et al.]. Comparison of whole and gutted Baltic Herring as a raw material for restructured fish product produced by high-moisture extrusion cooking. *Foods.* 2020, vol. 9, no. 11, pp. 1541, https://doi.org/10.3390/foods9111541.

4. Setälä J.; Saarni K.; Niukko J. Fish Market Review 2017, available at: https://www.luke.fi/wp-content/uploads/2019/05/Fish-market-review-2017. pdf (Accessed 15 August 2023).

5. Pihlajamäki M. [et al.]. Forage fish as food: consumer perceptions on Baltic herring. *Sustainability.* 2019, vol. 11, no. 16, pp. 4298, https://doi.org/10.3390/su11164298.

6. Rantakokko P., Peltonen H., Leskelä A., Hakalax R., Myllylä T., Lerche K.-O., Kiviranta H. Kalojen Vierasaineiden ja Vesiympäristön Tilan Seurannat Kustannustehokkaammiksi Tutkijoiden ja Kalastuselinkeinon Yhteistyöllä (KALAKAS), available at: http://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/138790/KALAKAS-Loppuraportti_2019-11-05.pdf?sequence=1&isAllowed=y (Accessed 12 August 2023).

7. Vorob'ev V. I. Sposob obrabotki ryb'ey cheshui dlya polucheniya kollagena i gidroksiapatita [Method for processing fish scales to obtain collagen and hydroxyapatite]. Posted application RF no. 2021116247, 2022.

8. Vorob'ev V. I., Chernega O. P., Fatykhov Yu. A., Nizhnikova E. V. Sposob prigotovleniya khleba s rybnoy dobavkoy [Method for preparing bread with fish additive]. Pat. RF, no. 2785619, 2022.

9. Lyutova E. V., Klyuchko N. Yu. *Izuchenie biologicheskoy tsennosti ikry i molok sel'di kak syr'ya dlya prigotovleniya plavlenykh syrov* [Study of the biological value

of herring caviar and milt as raw materials for the preparation of processed cheeses]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2013, no. 3, pp. 116–123.

10. Sokolov A. V. *Nauchnoe obosnovanie kompleksnoy pererabotki vtorichnogo syr'ya rybnoy promyshlennosti: sostav, svoystva i innovatsionnye tekhnologii*. *Diss. dokt. tekhn. nauk* [Scientific justification for the complex processing of secondary raw materials from the fishing industry: composition, properties and innovative technologies. Dis. dr. techn. sci]. Voronezh, 2021, 457 p.

11. Rawat P. [et al.]. Structural and mechanical properties of fish scales for the bio-inspired design of flexible body armors: A review. *Acta Biomaterialia*. 2021, vol. 121, pp. 41–67, https://doi.org/10.1016/j.actbio.2020.12.003.

12. Zhu D. [et al.]. Comparison of the morphology, structures and mechanical properties of teleost fish scales collected from New Zealand. *Journal of Bionic Engineering*. 2019, vol. 16, pp. 328–336, https://doi.org/10.1007/s42235-019-0028-1.

13. Qin D. [et al.]. Development and application of fish scale wastes as versatile natural biomaterials. *Chemical Engineering Journal*. 2022, vol. 428, pp. 131102, https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.131102.

14. Jiang H. [et al.]. Importance of radial line and circulus distributions to the protectoflexibility of scales in fish armors. *Cell Reports Physical Science*. 2022, vol. 3, no. 9, pp. 101022, https://doi.org/10.1016/j.xcrp.2022.101022.

15. Yang W., Meyers M. A., Ritchie R. O. Structural architectures with toughening mechanisms in Nature: A review of the materials science of Type-I collagenous materials. *Progress in Materials Science*. 2019, vol. 103, pp. 425–483, https://doi.org/10.1016/ j.pmatsci.2019.01.002.

Информация об авторах

В. И. Воробьев – кандидат технических наук, доцент кафедры химии
О. П. Чернега – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии продуктов питания
Е. В. Нижникова – кандидат биологических наук, доцент кафедры химии

Information about the authors

V. I. Vorob'ev – PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Chemistry
O. P. Chernega – PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Food Products Technology
E. V. Nizhnikova – PhD in Biology, Associate Professor of the Department of Chemistry

Статья поступила в редакцию 27.10.2023; одобрена после рецензирования 10.11.2023; принята к публикации 20.11.2023.
The article was submitted 27.10.2023; approved after reviewing 10.11.2023; accepted for publication 20.11.2023.