

Научная статья

УДК 664.951.014: 639.55: 665.213.9

DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-103-114

Потенциал и перспективы использования жира из копченых рыбных отходов

Ольга Яковлевна Мезенова¹, Светлана Викторовна Агафонова², Наталья Юрьевна Романенко³, Наталья Сергеевна Калинина⁴, Владимир Владимирович Волков⁵, Леонид Васильевич Дамбарович⁶

^{1,2,3,4,5,6}Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

¹mezenova@klgtu.ru

²svetlana.agafonova@klgtu.ru

³nataliya.mezenova@klgtu.ru

⁴natalya.kalinina@klgtu.ru

⁵vladimir.volkov@klgtu.ru

⁶leoneman2010@mail.ru

Аннотация. Повышенные объемы отходов от разделки рыбы, содержащие быстропортящиеся жиры, в настоящее время являются проблемой многих рыбоперерабатывающих производств. Данное сырье традиционно используется для изготовления кормовой рыбной муки и технического жира. Однако копченые рыбные отходы не перерабатываются по причине содержания коптильных компонентов, токсичных для животных. Жировая фракция рыбных отходов содержит ценные жирные кислоты, в том числе полиненасыщенные (ПНЖК) и кислоты семейства омега-3, необходимые для нормализации многих функций организма. В работе исследован биопотенциал жира копченых рыбных отходов шпротных производств, проведена оптимизация теплового процесса его выделения, дана оценка качеству и безопасности шпротного жира, обоснованы рациональные направления использования. Исследованы химический состав голов кильки горячего копчения и жирнокислотный состав выделенного жира. Проведены эксперименты по оптимизации тепловой экстракции жира из рыбных отходов с применением математического планирования экспериментов. Получены кодированные и натуральные математические модели, связывающие количественный выход жира и показатели его безопасности с температурой и продолжительностью теплового воздействия. Жир шпротных отходов в эксперименте по показателям гидролитической и окислительной порчи (кислотное и перекисное числа) не всегда соответствовал требованиям стандарта для жира рыбного пищевого. Исследовано содержание в шпротном жире полициклических ароматических углеводов (бенз(а)пирен;

бензо(б)флуорантен; бенз(а)антрацен; хризен), обладающих канцерогенными свойствами. Результаты свидетельствуют о критичности его использования для пищевых целей в виде жира-сырца. Рациональной областью применения жира из копченых рыбных отходов с повышенным содержанием опасных веществ и его использования в качестве источника углерода для синтеза белков одноклеточных и биоразлагаемых пластиков видится микробная биотехнология.

Ключевые слова: рыбные отходы, рыбный жир, тепловая экстракция, кислотное число, перекисное число, полициклические ароматические углеводороды, полигидроксикарбоксилаты.

Благодарности: Авторы благодарят директора Научно-исследовательской и консультационной лаборатории UBF, доктора наук Йорга-Томаса Мерзеля за помощь в аналитических исследованиях.

Финансирование: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-64-10007 «Биотехнологический синтез белка одноклеточных и разрушаемых биопластиков с использованием в качестве нового углеродного субстрата жиросодержащих отходов технологий рыбопереработки: фундаментальное обоснование и реализация», <https://rscf.ru/project/23-64-10007/>

Для цитирования: Мезенова О. Я., Агафонова С. В., Романенко Н. Ю., Калинина Н. С., Волков В. В., Дамбарович Л. В. Потенциал и перспективы использования жира из копченых рыбных отходов // Известия КГТУ. 2023. № 70. С. 103–114. DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-103-114.

Original article

Potential and perspectives of using fat from smoked fish waste

Ol'ga Ya. Mezenova¹, Svetlana V. Agafonova², Natalya Yu. Romanenko³, Natalya S. Kalinina⁴, Vladimir V. Volkov⁵, Leonid V. Dambarovich⁶

^{1,2,3,4,5,6}Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

¹mezenova@klgtu.ru

²svetlana.agafonova@klgtu.ru

³nataliya.mezenova@klgtu.ru

⁴natalya.kalinina@klgtu.ru

⁵vladimir.volkov@klgtu.ru

⁶leoneman2010@mail.ru

Abstract. Increased volumes of waste from fish cutting containing rapidly perishable fats are currently a problem in many fish processing industries. This raw material is traditionally used for the manufacture of feed fishmeal and industrial fat. However, smoked fish waste is not processed due to the content of smoke components that are toxic to animals. The fatty fraction of fish waste contains valuable fatty acids, including polyunsaturated PUFAs and omega-3 acids, which are necessary for the normalization of many body functions. In the work, the biopotential of fat from smoked fish waste from sprat production was studied, the thermal process of its extraction was optimized, the quality and safety of sprat fat were assessed, and rational directions for use were substantiated. The chemical composition of hot-smoked sprat heads and the

fatty acid composition of the extracted fat were studied. Experiments were carried out to optimize the thermal extraction of fat from fish waste using mathematical planning of experiments. Coded and natural mathematical models have been obtained that relate the quantitative yield of fat and its safety indicators with the temperature and duration of thermal exposure. Sprat waste fat in the experiment in terms of hydrolytic and oxidative spoilage (acid and peroxide numbers) did not always meet the requirements of the standard for edible fish oil. The content of polycyclic aromatic hydrocarbons (benz(a)pyrene; benzo(b)fluoranthene; benzo(a)anthracene; chrysene) with carcinogenic properties in sprat fat was studied. The results indicate the criticality of its use for food purposes in the form of raw fat. Microbial biotechnology and its use as a carbon source for the synthesis of unicellular proteins and biodegradable plastics is seen as a rational area for the application of fat from smoked fish waste with a high content of hazardous substances.

Key words: fish waste, fish oil, thermal extraction, acid value, peroxide value, polycyclic aromatic hydrocarbons, polyhydroxyalkanoates.

Acknowledgments: The authors would like to thank the Director of the UBF Research and Consulting Laboratory, Dr. Jörg-Thomas Merzel, for his assistance in the analytical studies.

Funding: The study was supported by the grant of the Russian Science Foundation No. 23-64-10007 "Biotechnological protein synthesis of unicellular and degradable bioplastics using fat-containing waste from fish processing technologies as a new carbon substrate: fundamental justification and implementation", <https://rscf.en/project/23-64-10007/>

For citation: Mezenova O. Ya., Agafonova S. V., Romanenko N. Yu., Kalinina N. S., Volkov V. V., Dambarovich L. V. Potential and perspectives of using fat from smoked fish waste. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2023; № 70. С. 103–114. DOI 10.46845/1997-3071-2023-70-103-114.

ВВЕДЕНИЕ

Рыба и другие морепродукты являются ценным источником уникальных жиров, которые используют на пищевые, кормовые, технические, ветеринарные, медицинские и другие цели. Из свежеполученных рыбных жиров изготавливают пищевые и биологически активные добавки, лекарственные и профилактические препараты, технические смазки, антиадгезионные смеси, биоэнергетики. С их применением получают пищевые соусы, заливки, эмульсии и другие жиросодержащие продукты. Качественный и безопасный рыбный жир используют в функциональных и специализированных продуктах питания, в составе фармацевтических препаратов. Жиры рыб и морепродуктов являются ценным источником полиненасыщенных жирных кислот, содержание которых составляет 40–50 % всех жирных кислот (ЖК), в состав которых входят уникальные эйкозапентаеновая (ЭПК) и докозагексаеновая (ДГК) жирные кислоты семейства омега-3, имеющие соответственно 5 и 6 двойных связей. В данных жирах также содержатся жирорастворимые витамины D, A и F, являющиеся ценными биологически активными веществами [1–3].

В настоящее время растет популярность биодобавок с омега-3 ЖК, что оказывает заметное влияние на мировой рынок рыбьего жира, особенно

предназначенного для медицинских целей. Рыбий жир – один из ключевых компонентов в составе кормов для рыбоводства, объектов аквакультуры, сельскохозяйственных и домашних животных [4–7].

Основным условием для использования рыбного жира в названных целях является его высокое качество в части содержания ПНЖК, а также безопасность в отношении токсичных продуктов, образующихся в результате гидролиза и окисления. К сожалению, основное достоинство рыбного жира – высокая полиненасыщенность – обуславливает и его основной недостаток – склонность к повышенной гидролитической и окислительной порче. В местах двойных связей ПНЖК чрезвычайно быстро образуются перекиси и гидроперекиси, которые необратимо подвергаются окислению. В результате данные ЖК теряют свою биологическую активность, при этом жир становится токсичным [1, 5, 6].

Источником рыбного жира являются многие виды рыб с повышенной жирностью. Жир в теле рыб может распределяться очень неравномерно, выделять рыбный жир из туловищного сырья (мышечной ткани) экономически нецелесообразно, обезжиренная рыбная масса при этом теряет товарный вид и не всегда может быть использована на пищевые цели. Получать рыбный жир рационально из жиросодержащих рыбных отходов – голов, костей, внутренностей. В основном рыбные отходы направляются на производство кормовой рыбной муки, при этом дополнительным продуктом является жир-сырец, который при соответствии требованиям стандарта используется как технический рыбный жир. Однако в жире из рыбных отходов, как правило, по причине их быстрой микробиальной и автолитической порчи интенсифицируются процессы гидролиза и окислительного прогоркания. Такой жир быстро становится не соответствующим стандартам по показателям кислотного и перекисного чисел и представляет проблему для использования [8].

Основные жиросодержащие отходы, накапливающиеся при рыбопереработке, можно классифицировать на следующие группы [1, 2]:

- рыбные отходы пищевых производств (стерилизованные консервы, соленая рыба и пресервы, копченая и вяленая рыба, кулинарные рыбные изделия); при этом образуется около 50 % массы вторичного сырья;
- некондиционная рыба (мятая, рваная, с наружными дефектами, не соответствующая по размерам, неправильно разделанная, с первыми признаками автолиза тканей, но без бактериальной порчи);
- прилов – рыба другого вида, не используемая для основного производства;
- жир-сырец, получаемый в процессе изготовления кормовой рыбной муки, белковых гидролизатов и концентратов [9].

Способы выделения жира из жиросодержащего рыбного сырья различны. В основном жир-сырец получают тепловым способом (традиционный), механическим измельчением, низкотемпературным воздействием, энзимологическим и химико-экстракционным методами [1, 2, 6, 10]. Наиболее распространен тепловой способ, при котором на измельченное сырье в водной среде воздействуют температурами около 100 °С, в результате чего происходит разрушение оболочек жировых клеток, из которых вытекает жир. При тепловой обработке жиросодержащих рыбных отходов с повышенным количеством коллагеновых белков может образовываться стойкая белково-жировая эмульсия, препятствующая разделению фракций и выделению свободного жира. Причиной этого является переход коллагена в

водорастворимый глютин, обладающий повышенной липкостью и адгезией. В итоге образуется стойкая клеевая масса, из которой трудно выделить свободный жир. Избежать этого можно, если воздействовать на сырье температурами, разрушающими коллагеновые белки, но не влияющими на качество жира [1, 5, 9].

В Калининградской области в настоящее время повышенное количество жиродержащих отходов накапливается на рыбокомбинатах, производящих консервы «Шпроты в масле». В регионе из балтийской кильки (*Sprattus sprattus balticus*) выпускается около 80 % отечественных консервов данного вида. При этом жиродержащие головы кильки, удаляемые после копчения, не перерабатываются по причине наличия копильных компонентов. Такие отходы, как правило, утилизируются на полигонах ТБО, несмотря на высокий органический биопотенциал. Головы кильки составляет 10–12 % от массы целой рыбы, ежесуточное аккумуляирование и утилизация данных отходов в Калининградской области достигает около 8–10 т [9]. При среднем содержании в таком сырье жира около 10 % и белка 15 % недоиспользуемый ценный органический ресурс составляет соответственно 1,0 т жира и 1,5 т белка.

Представляется актуальным оценить жировой биопотенциал копченых жиродержащих рыбных отходов Калининградского региона путем исследования его химического состава, биологической ценности и безопасности выделяемого традиционным способом жира.

Цель работы – исследование биопотенциала жира, выделенного из шпротных рыбных отходов, оптимизация значений факторов его тепловой экстракции, оценка качества и безопасности жира, обоснование рациональных направлений использования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования являлись головы балтийской кильки горячего копчения (отходы производства консервов «Шпроты в масле»), полученные от рыбоконсервного завода ООО «РосКон» (г. Пионерский, Калининградская область), а также образцы жиров, выделенных из данного сырья. Отбор средних проб, подготовку их к анализу проводили в соответствии с ГОСТ 31339-2006, ГОСТ 7631-85. Общий химический состав голов кильки, кислотное и перекисное числа жира определяли по ГОСТ 7636-85.

Исследование жирнокислотного состава копченого рыбного жира проводили хроматографическим методом в лаборатории UBF (Альтландсберг, Германия) с идентификацией жирных кислот спектрофотометрическим путем. Пробоподготовка заключалась в гидролизе триглицеридов жира триметилсульфонийгидроксидом с получением метиловых эфиров жирных кислот. Разделение эфиров осуществляли на газовом хроматографе «Hewlett Packard GC-System HP 6890 Series».

Обоснование оптимальных факторов процесса теплового выделения из шпротных отходов осуществляли с применением метода математического планирования эксперимента по ортогональному центральному композиционному плану второго порядка. Изменяемыми факторами в исследованиях выступали температура вытапливания (T ; 40–100 °C) и продолжительность тепловой обработки (τ ; 20–60 мин.). В качестве параметра оптимизации был выбран обобщенный отклик,

рассчитываемый с применением частных откликов (ВЖ – выход жира из сырья, КЧ – кислотное число, ПЧ – перекисное число) методом «приближения к идеалу» (КЧ – 10 мг КОН/г; ПЧ – 4 ммоль/кг акт. О; ВЖ – 30 г из 100 г сырья).

Определение содержания полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в рыбных жирах осуществляли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии путем измерения флуоресценции при различных длинах волн возбуждения и эмиссии в Научно-исследовательской и консультационной лаборатории UBF (Альтландсберг, Германия).

Статистическую обработку данных проводили на 95 %-ном доверительном уровне методом регрессивного анализа с использованием пакетов прикладных программ «Microsoft Office».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Общий химический состав голов копченой кильки, представленных для исследования, характеризовался содержанием воды, белка, жира и минеральных веществ соответственно на уровне (%): 65,2; 16,3; 15,4; 3,1. Жир, выделенный из сырья тепловым способом, имел светло-коричневый цвет, был непрозрачным, имел ярко выраженный аромат копченой рыбы.

Оценка жирнокислотного состава шпротного жира показала, что он не уступает жиру из свежей кильки и других сельдевых рыб [1, 5]. Установлены его сбалансированность по содержанию основных ЖК и высокая биологическая ценность по содержанию эссенциальных ЖК семейства омега-3. Соотношение насыщенных (НЖК), мононенасыщенных (МНЖК) и полиненасыщенных (ПНЖК) составляет 30 : 37,8 : 32,2, что близко рекомендуемому для питания человека (1 : 1 : 1). При этом доля ПНЖК составляет 37,8 % от суммы всех ЖК с очень значимым удельным весом в этой группе содержания ЭПК и ДГК (соответственно 10,3 % и 14,9 %). Полученные данные свидетельствуют о высокой степени сохранности ПНЖК, несмотря на критические факторы в переработке сырья при производстве консервов (повышенная влажность, высокие температуры и др.). Эффект высокой сохранности ПНЖК можно объяснить присутствием в жире копильных компонентов фенольной природы, являющихся эффективными антиоксидантами. Полученные данные свидетельствуют о высоком пищевом потенциале жира, содержащегося в шпротных отходах, и возможности его использования в качестве источника ценных биологически активных веществ.

Эксперименты, проведенные в соответствии с матрицей ортогонального центрального композиционного плана 2-го порядка для 2-х факторов, позволили получить следующие показатели качества шпротного жира и уровня его выхода из сырья в зависимости от условий его выделения (табл. 1).

Таблица. План эксперимента по моделированию и оптимизации процесса экстракции жира из голов копченой кильки (шпротных отходов) в зависимости от времени и температуры

Table. Experimental plan for modeling and optimizing the process of extracting fat from the heads of smoked sprat (sprat waste) depending on time and temperature

№ опыта	Изменяемые факторы эксперимента – процесса экстракции жира		Частные отклики			Безразмерные отклики			Обобщенные параметры оптимизации, Y
	Температура, °C, T (X ₁)	Время, мин, τ (X ₂)	КЧ, мг КОН/г	ПЧ, ммоль/кг ½ О	Масса жира, %	S _{КЧ} ²	S _{ПЧ} ²	S _м ²	
1	100	60	11,25	3,98	29,1	0,0156	0,0000	0,0000	0,0157
2	40	60	9,31	15,02	21,7	0,0048	7,5900	0,0647	7,5948
3	100	20	10,77	4,94	24,8	0,0059	0,0552	0,0218	0,0612
4	40	20	9,01	16,42	23,7	0,0098	9,6410	0,0344	9,6508
5	100	40	11,06	4,37	26,8	0,0112	0,0086	0,0062	0,0198
6	40	40	9,41	15,93	18,3	0,0035	8,8953	0,1377	8,8988
7	70	60	10,63	6,49	19	0,0040	0,3875	0,1205	0,3915
8	70	20	10,1	7,5	19,9	0,0001	0,7656	0,1000	0,7657
9	70	40	10,34	6,95	18,8	0,0012	0,5439	0,1253	0,5451

После обработки данных по алгоритму ОЦКП была получена следующая модель процесса экстракции жира, связывающая обобщенный параметр оптимизации с факторами процесса:

$$Y = 0,841107 - 4,353501x_1 - 0,40209x_2 + 0,491593x_1x_2 + 3,683047x_1^2 - 0,15728x_2^2$$

Из анализа кодированной модели следует, что фактор температуры (x₁) гораздо более значимо влияет на выход жира и показатели его безопасности, чем продолжительность экстракции (x₂) в указанной области исследования.

Математическая модель процесса экстракции жира в натуральном выражении, которая может быть использована для прогнозирования частных откликов и обобщенного параметра оптимизации в зависимости от натуральных значений факторов процесса, имеет следующий вид:

$$Y = 33,520 - 0,751T - 0,046\tau + 0,0008T\tau + 0,004T^2 - 0,00\tau^2$$

Оптимизация процесса выделения жира методом Бокса-Уилсона позволила получить следующие расчетные оптимальные значения температуры и продолжительности экстракции жира:

$T = 88,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ – температура экстракции;

$\tau = 34\text{ мин.}$ – продолжительность экстракции.

Таким образом, получение рыбного жира из шпротных голов с показателями КЧ и ПЧ, регламентированными для пищевого жира, рекомендуется при температуре экстракции $88\text{--}89\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 34 мин. Такой жир имеет значения КЧ менее 4 мг КОН/г жира и ПЧ менее 10 ммоль активного кислорода/кг при выходе из сырья около 30 % от его массы и может быть использован на пищевые цели.

Однако, анализ данных табл. 1 показывает, что в большинстве опытов показатели ПЧ и КЧ превышали допустимые для пищевого жира значения, что свидетельствует о высокой неустойчивости жирных кислот к факторам гидролитической и окислительной порчи в диапазоне варьирования факторов. Отсюда следует, что необходимо учитывать высокую склонность рыбного жира к гидролитическим и окислительным изменениям. В случае превышения допустимых значений КЧ и ПЧ получаемый рыбный жир требует специального обоснования по применению. В данном случае его можно использовать в качестве биоэнергетического материала (биотоплива), основы для антиадгезионных материалов или технических смазок [11], а также в биотехнологии как источник углерода для микробного синтеза белка одноклеточных и биоразлагаемых пластиков типа полигидроксиканоатов (ПГА) [12, 13, 14, 15].

Следует учитывать, что жир из шпротных отходов даже при соответствии значений КЧ и ПЧ показателям пищевого рыбного жира может быть не безопасным для здоровья человека. Причиной токсичности такого жира является содержание вредных полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), обладающих канцерогенной и мутагенной опасностью. Они попадают в рыбу при копчении кильки из дыма, хорошо растворяются в жире, переходят вместе с ним при тепловой экстракции и подлежат обязательному контролю при сертификации копченой продукции.

Оценка содержания ПАУ в выделенном шпротном жире показала, что по суммарному содержанию 4 основных ПАУ (бенз(а)пирен; бензо(б)флуорантен; бенз(а)антрацен; хризен) на уровне 86,37 мкг/кг наибольшая концентрация приходится на бенз(а)антрацен (53,18 мкг/кг) и хризен (27,36 мкг/кг). При этом содержание бенз(а)пирена (4,56 мкг/кг) соответствует требованиям Технического регламента Таможенного Союза 021/2011 по допустимому уровню (не более 5 мкг/кг). Отсюда следует, что жир, выделяемый из голов копченой кильки тепловой экстракцией, может являться основой для создания коптильного ароматизатора, ароматизированных масел и заливок для различной рыбной продукции. С учетом повышенного содержания других ПАУ (бенз(а)антрацена и хризена) применение его в качестве самостоятельного пищевого продукта нежелательно. В данном случае жир из копченых рыбных отходов рационально использовать в качестве источника углерода, биологически активных веществ (ПНЖК, ЭПК, ДГК) для микробного синтеза белка одноклеточных и разлагаемых биополимеров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследования потенциала жиросодержащих голов копченой кильки как отходов шпротного производства можно констатировать перспективность и рациональность получения рыбного жира тепловым методом. Выделяемый жир отличается сбалансированностью жирнокислотного состава по соотношению НЖК, МНЖК и ПНЖК, наличием уникальных жирных кислот семейства омега-3, в том числе с высоким содержанием ценных ЭПК и ДГК. Максимальный выход жира из шпротных отходов (до 30 % от массы сырья) может быть достигнут тепловой экстракцией при оптимальных значениях температуры (88–89 °С) и продолжительности экстракции (34 мин). При этом получаемый жир может соответствовать или не соответствовать по качеству требованиям, предъявляемым к пищевым рыбным жирам. При соответствии его можно рекомендовать к пищевому использованию, например, в составе ароматизаторов, биодобавок, компонентов соусов и заливок. При этом необходима оценка такого жира на содержание перекисей, гидроперекисей и полициклических ароматических углеводородов.

При превышении показателей безопасности жира по значениям ПЧ, КЧ и ПАУ жир из шпротных отходов может быть применен в микробной биотехнологии в качестве источника углерода для синтеза белков одноклеточных и биоразлагаемых пластиков. Жиросодержащие отходы технологий переработки рыбного сырья потенциально являются рациональным и возобновляемым ресурсом для получения субстратов биотехнологии. Малая изученность этого источника обосновывает рациональность проведения специальных исследований. Комплексность использования шпротных отходов и замкнутость технологического цикла изготовления консервов «Шпроты в масле» повысят эффективность рыбоперерабатывающих производств путем получения продуктов биотехнологии с высокой добавленной стоимостью.

Список источников

1. Боева Н.П., Бредихина О.В., Петрова М.С., Баскакова Ю.А. Технология жиров из водных биологических ресурсов: монография. М.: Изд-во ВНИРО, 2016. 107 с.
2. Иванова Е.Е. Жирнокислотный состав липидов некоторых видов рыб, акклиматизированных на юге России // Известия вузов. Пищевая технология, 2003. № 4. С. 18–20.
3. Гаммель И. В., Запорожская Л. И., Магин Г. Ю. Получение и исследование осетрового рыбьего жира – источника омега-3 и омега-6 полиненасыщенных жирных кислот // Медицинский альманах, 2013. № 5. С. 182–187.
4. Muge E. K., Mbatia B. N., Mwaniki M. W. Development and Sensory Evaluation of Omega-3-Rich Nile Perch Fish Oil-Fortified Yogurt. International Journal of Food Science. 2021. Article ID 8838043. P. 7
5. Биотехнология рационального использования гидробионтов: учебник / Т. М. Сафронова, О. Я. Мезенова, Н. Т. Сергеева, Т. Н. Слуцкая, Л. С. Байдалинова, А. С. Лысова, Г. Е. Степанцова // Издательство «Лань», СПб. 2013. 412 с.
6. Дамбарович Л. В., Агафонова С. В. Ферментативная экстракция жира из вторичного сырья атлантической скумбрии и его использование в функциональном питании // Вестник Международной академии холода, 2022. № 2. С. 48–55.

7. Rincón-Cervera M.A. et al. Quantification and Distribution of Omega-3 Fatty Acids in South Pacific Fish and Shellfish Species. *Foods*. 2020. No 9. P. 233.
8. Исследование и рациональное применение пептидных и липидных композиций, получаемых при гидролизной переработке коллагенсодержащих тканей / О. Я. Мезенова, Д. Тишлер, С. В. Агафонова, Н. Ю. Мезенова, Д. А. Бараненко, Т. Гримм, С. Ридель // Вестник Международной академии холода. 2021. № 1. С. 46–58.
9. Мезенова О. Я. Биотехнологические способы получения протеиновых и белково-минеральных добавок из вторичного рыбного сырья коптильных производств // Известия вузов. Пищевая технология. 2019. № 2–3. С. 68–71.
10. Aitta E., Marsol-Vall A., Damerau A., Yang B. Enzyme-Assisted Extraction of Fish Oil from Whole Fish and by-Products of Baltic Herring (*Clupea harengus membras*). *Foods*. 2021. N. 10 (8). P. 1811.
11. Петров Б. Ф., Вепринцев Р. А. Использование технических жиров в рыбной промышленности // Материалы Международной научно-практической конференции «Рыбохозяйственный комплекс России: проблемы и перспективы развития (28–29 марта 2023 г.)». ВГБНУ «ВНИРО», Москва, 2023. С. 327–332.
12. Мезенова О. Я. Современная пищевая биотехнология: основные проблемы и вызовы // Вестник Международной академии холода. 2023. № 1. С. 35–46. DOI: 10.17586/1606-4313-2023-22-1-35-46.
13. Popa M. S., Frone A. N., Panaitescu D. M. Polyhydroxybutyrate blends: a solution for biodegradable packaging // *International Journal of Biological Macromolecules*, 2022. N. 207. P. 263–277.
14. Volova T., Sapozhnikova K., Zhila N. Cupriavidus necator B-10646 growth and polyhydroxyalkanoates production on different plant oils // *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020. N. 164. P. 121–130.
15. Thuoc D. V., Anh V. T. M. Bioconversion of Crude Fish Oil Into Poly-3-hydroxybutyrate by *Ralstonia* Sp. M91// *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2021. V. 57. N. 2. P. 219–225. DOI : 10.1134/S0003683821020162.

References

1. Boeva N. P., Bredikhina O. V., Petrova M. S., Baskakova Yu. A. *Tekhnologiya zhиров iz vodnykh biologicheskikh resursov* [Technology of fats from aquatic biological resources]. Moscow, Izd-vo VNIRO, 2016, 107 p.
2. Ivanova E. E. Zhirnokislotsnyy sostav lipidov nekotorykh vidov ryb, akklimatizirovannykh na yuge Rossii [Fatty acid composition of lipids in some fish species acclimatized in the south of Russia]. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya*, 2003, no. 4, pp. 11–13
3. Gammel I. V., Zaporozhskaya L. I., Magin G. Yu. Polucheniye i issledovaniye osetrovogo ryb'yego zhira – istochnika omega-3 i omega-6 polinenasyshchennykh zhirnykh kislot [Preparation and study of sturgeon fish oil – a source of omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids]. *Meditinskiy al'manakh*, 2013, no. 5, pp. 182–187.
4. Muge E. K., Mbatia B. N., Mwaniki M. W. Development and Sensory Evaluation of Omega-3-Rich Nile Perch Fish Oil-Fortified Yogurt. *International Journal of Food Science*. 2021. Article ID 8838043. P.7

5. Safronova T. M., Mezenova O. Ya., Sergeeva N. T., Slutsкая T. N., Baidaliova L. S., Lysova A. S., Stepanova G. E. *Biotehnologiya ratsional'nogo ispol'zovaniya gidrobiontov: uchebnik* [Biotechnology of the rational use of hydrobionts: textbook]. Saint-Petersburg, Publishing house "Lan", 2013, 412 p.
6. Dambarovich L. V., Agafonova S. V. Fermentativnaya ekstraktsiya zhira iz vtorichnogo syr'ya atlanticheskoy skumbrii i ego ispol'zovanie v funktsional'nom pitanii [Enzymatic extraction of fat from recycled Atlantic mackerel and its use in functional nutrition]. *Vestnik Mezhdunarodnoy akademii kholoda*, 2022, no. 2, pp. 48–55.
7. Rincon-Cervera M. A. [et al.]. Quantification and Distribution of Omega-3 Fatty Acids in South Pacific Fish and Shellfish Species. *Foods*. 2020, no. 9, p. 233.
8. Mezenova O. Ya., Tishler D., Agafonova S. V., Mezenova N. Yu., Volkov V. V., Baranenko D. A., Grimm T., Ridel' S. Issledovaniye i ratsional'noye primeneniye peptidnykh i lipidnykh kompozitsiy, poluchayemykh pri gidroliznoy pererabotke kollagensoderzhashchikh tkaney [Research and rational application analysis of peptide and lipid compositions obtained by hydrolysis processing of collagen-containing tissues]. *Vestnik Mezhdunarodnoy akademii kholoda*, 2021, no. 1, pp. 46–58.
9. Mezenova O. Ya. Biotehnologicheskiye sposoby polucheniya proteinovykh i belkovo-mineral'nykh dobavok iz vtorichnogo rybnogo syr'ya koptil'nykh proizvodstv [Biotechnological methods for obtaining protein and protein-mineral additives from secondary fish raw materials of smoke production]. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya*, 2019, no. 2–3, pp. 68–71.
10. Aitta E., Marsol-Vall A., Damerau A., Yang B. Enzyme-Assisted Extraction of Fish Oil from Whole Fish and by-Products of Baltic Herring (*Clupea harengus* membras). *Foods*. 2021, no. 10 (8), p. 1811.
11. Petrov B. F., Veprintsev R. A. Ispol'zovaniye tekhnicheskikh zhirov v rybnoy promyshlennosti [The use of technical fats in the fishing industry]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Rybokhozyaystvennyy kompleks Rossii: problemy i perspektivy razvitiya"* (28–29 marta 2023 g.). [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Fishery complex of Russia: problems and development prospects"]. VGBNU «VNIRO», Moscow, 2023, pp. 327–332.
12. Mezenova O. Ya. Sovremennaya pishchevaya biotehnologiya: osnovnyye problemy i vyzovy [Modern food biotechnology: main problems and challenges]. *Vestnik Mezhdunarodnoy akademii kholoda*, 2023, no. 1, pp. 35–46. DOI: 10.17586/1606-4313-2023-22-1-35-46.
13. Popa M. S., Frone A. N., Panaitescu D. M. Polyhydroxybutyrate blends: a solution for biodegradable packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2022, no. 207, pp. 263–277.
14. Volova T., Sapozhnikova K., Zhila N. Cupriavidus necator B-10646 growth and polyhydroxyalkanoates production on different plant oils. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020, no. 164, pp. 121–130.
15. Thuoc D. V., Anh V. T. M. Bioconversion of Crude Fish Oil Into Poly-3-hydroxybutyrate by *Ralstonia* Sp. M91. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2021, vol. 57, no. 2, pp. 219–225. DOI : 10.1134/S0003683821020162.

Информация об авторах

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

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

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

Н. С. Калинина – заведующая лабораториями кафедры пищевой биотехнологии

В. В. Волков – директор Центра передовых технологий использования белков кафедры пищевой биотехнологии

Л. В. Дамбарович – аспирант кафедры пищевой биотехнологии

Information about the authors

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

A. S. Agafonova – PhD, Associate Professor of the Department of Food Biotechnology

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

N. S. Kalinina – Head of Laboratories, Department of Food Biotechnology

V. V. Volkov – Director of the Center for Advanced Technologies in the Use of Proteins, Department of Food Biotechnology

L. V. Dambarovich – PhD Student, Department of Food Biotechnology

Статья поступила в редакцию 05.07.2023; одобрена после рецензирования 11.07.2023; принята к публикации 12.07.2023.

The article was submitted 05.07.2023; approved after reviewing 11.07.2023; accepted for publication 12.07.2023.