

Научная статья

УДК 54.061, 543.422.3-74

DOI 10.46845/1997-3071-2024-75-65-76

Методология выявления фальсификатов лососевой икры

**Борис Юрьевич Воротников¹, Владимир Владимирович Соклаков²,
Александр Григорьевич Булычев³, Наталья Анатольевна Рачкова⁴**

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

² Уполномоченное представительство органа по сертификации «EUROCERT S. A.», Санкт-Петербург, Россия

¹vorotnikov@klgtu.ru

Аннотация. Проблема фальсификации пищевых продуктов сопровождает человечество на протяжении тысячелетий. Современный технолог должен уметь не только создавать новые виды продукции, но и предлагать методы их идентификации. Зернистая икра лососевых – один из наиболее часто фальсифицируемых продуктов, поскольку он считается традиционным деликатесом, обладает высокой рыночной стоимостью и достаточной маржинальностью. Обычно для идентификации икры используют электрофоретический и молекулярно-генетический методы, дорогие и довольно продолжительные по времени определения. Не лишены некоторых недостатков и предлагаемые в современной литературе методы люминесцентрии и идентификации по массовому содержанию белка. Как следствие, остается актуальным поиск экспрессного и сравнительно недорогого метода, позволяющего эффективно устанавливать факт подделки данного продукта, не связанного с подменой биологического вида сырья. С этой целью было предложено использовать морфологический и спектрометрический методы. Подготовленные пробы оболочек натуральной и имитированной зернистой икры фотографировали с применением электронного микроскопа и использовали для снятия инфракрасных спектров методом нарушенного полного внутреннего отражения. Поскольку технологически имитированные икринки размерами, сравнимыми с натуральной икрой-зерном, возможно изготовить только с использованием углеводных полимеров, то в качестве эталона сравнения выступал альгинат натрия. Результаты, полученные при морфологическом анализе, показали меньшую соориентированность коллагеновых молекул оболочки натуральной икры по сравнению с молекулами альгинатов оболочки имитированной икры. Причиной таких различий может служить разница в пространственной конфигурации молекул белковой и углеводной природы. Согласно данным, полученным при инфракрасной спектрометрии, отличительным маркером может являться отсутствие у фальсификата характерного пика с волновым числом 1536 см^{-1} и наличие у натуральной икры пиков в диапазоне $1560\text{--}1510\text{ см}^{-1}$. Таким образом, показана возможность использования описанных методов для достоверного различения натуральной зернистой икры лососевых и имитированной продукции.

Ключевые слова: фальсификация пищевых продуктов, зернистая икра лососевых рыб, электронная микроскопия, инфракрасная спектрометрия.

Для цитирования: Воротников Б. Ю., Соклаков В. В., Булычев А. Г., Рачкова Н. А. Методология выявления фальсификатов лососевой икры // Известия КГТУ. 2024. № 75. С. 65-76. DOI 10.46845/1997-3071-2024-75-65-76.

Original article

Methodology of salmon roe fraud detection

Boris Yu. Vorotnikov¹, Vladimir V. Soklakov², Aleksandr G. Bulychyov³, Natalya A. Rachkova⁴

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

² Authorized representative office of EUROCERT S. A. certification body, Saint-Petersburg, Russia

¹vorotnikov@klgtu.ru

Abstract. The problem of food fraud has been accompanying humanity for thousands of years. A modern technologist should be able not only to create new types of products, but also to propose methods for their identification. Grain salmon roe is one of the most frequently adulterated products, since it is considered a traditional delicacy, has a high market value and sufficient marginality. Traditionally, electrophoretic and molecular genetic methods are used for its identification, characterized by high cost and comparative duration of testing. The methods of luminometry and identification by mass content of protein offered in modern literature have certain disadvantages. As a result, it remains relevant to search for an express and relatively inexpensive method that makes it possible to effectively establish the fact of fraud of the product that is not associated with the substitution of a biological type of raw. For this purpose, it has been proposed to use morphological and spectrometric methods. Prepared samples of ovum membranes of natural and imitated granular caviar were photographed using an electron microscope and used to detect infrared spectra by the method of frustrated total internal reflection. Since it is possible to produce technologically imitated roe comparable in size to natural grain roe, only using carbohydrate polymers, sodium alginate was used as a reference standard. The results obtained by morphological analysis showed a lower alignment of the collagen molecules of the natural caviar ovum membrane compared with the alginate molecules of the imitated caviar ovum membrane. The reason for such differences may be the variance in the spatial configuration of protein and carbohydrate molecules. According to the data obtained by infrared spectrometry, the absence of a characteristic peak with a wave number of 1536 cm^{-1} in fraud sample and the presence of peaks in the range of $1560\text{-}1510\text{ cm}^{-1}$ in natural roe can serve as a distinctive marker. Thus, the possibility of using the described methods to reliably distinguish natural grain salmon roe from imitated products has been shown.

Keywords: food fraud, grain salmon roe, electronic microscopy, infrared spectrometry.

For citation: Vorotnikov B. Yu., Soklakov V. V., Bulychyov A. G., Rachkova N. A. Methodology of salmon roe fraud detection // *Izvestiya KGTU=KSTU News*. 2024;(75): 65-76. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2024-75-65-76.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема фальсификации пищевых продуктов – одна из наиболее древних в истории человечества, получившая отражение в трудах древнеримских историков [1]. Современные технологии позволяют получать имитированные продукты, по своим органолептическим свойствам близкие к оригинальным (зачастую – деликатесным) до степени смешения. Такая продукция, будучи выпущенной на рынок с недостоверной маркировкой, может вводить в заблуждение неискущенного приобретателя и тем более потребителя, сталкивающихся с фальсификатом. Учитывая, что в ряде случаев фальсификация наносит ущерб здоровью потребителя, современные модели систем менеджмента безопасности пищевых продуктов предполагают включение требования по предотвращению фальсификации как одного из основополагающих [2].

Одной из компетенций современного технолога представляется разработка методов идентификации существующей и вновь создаваемой продукции, тем более, что ТР ЕАЭС 040/2016 предусматривает использование в т. ч. аналитического метода. Такой метод применяется в случае, если пищевую рыбную продукцию невозможно идентифицировать методом по наименованию, визуальным или органолептическими методами – что уместно при выявлении фальсификатов.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Постановка задачи

Поскольку основополагающим мотивом для любой фальсификации является экономическая выгода, очевидно, что ее первоочередной целью становится высокомаржинальная продукция. Так, одним из наиболее часто подделываемых продуктов является зернистая икра рыб семейства лососевых. Стандартизированный метод ее идентификации предполагает использование гельэлектрофореза (ГОСТ Р 54414, ГОСТ 31781), также может применяться валидированный молекулярно-генетический метод [3], что делает выявление фальсификатов по меньшей мере дорогостоящим, а иногда и требующим существенных временных затрат. Что же касается использования в данных целях методов люминометрии [4, 5], то, на наш взгляд, для их успешного внедрения необходимо наличие библиотеки контрольных образцов, вариабельность свечения которых может быть обусловлена различиями в нативных свойствах икры одного и того же биологического вида. Определение содержания массовой доли белка по Кьельдалю [6, 7] также не является экспрессным методом в силу продолжительности пробоподготовки перед измерением. Такая ситуация делает обоснованной цель настоящего исследования – поиск инструментальных методов, менее дорогостоящих, капиталоёмких и более экспрессных по используемому оборудованию в сравнении с основанными на полимеразной цепной реакции (ПЦР) или электрофорезе.

Исходя из биологических особенностей и биохимических характеристик зернистой икры, представляется возможным в качестве основы для экспрессных методик ее идентификации использовать морфологический (с применением электронной микроскопии) и спектрометрический (с применением ИК-спектрометрии) методы исследований. Учитывалось и наличие стандартизиро-

ванной методики по морфологическому анализу икры осетровых (ГОСТ 30812), а также работы по ее адаптации для исследования икры других видов рыб [8, 9].

Использованные методы

В декабре 2022 г. в розничной торговле г. Калининграда были приобретены два образца рыбной пищевой продукции, заявленные как зернистая лососевая икра кеты *Oncorhynchus keta*, один образец впоследствии по исследованным показателям оказался фальсификатом. Отбор проб проводили по ГОСТ 31339. Из средней пробы как зернистой, так и имитированной икры лососевых отбирали икринки, оболочку икринок разрезали скальпелем, отделяли от содержимого, отмывали от остатков джуса изотоническим раствором хлорида натрия.

В целях морфологического исследования, используя сканирующую электронную микроскопию (СЭМ), проводили съемку поверхности оболочки имитированных икринок с последующим сравнением с опубликованными снимками поверхности натуральной икры лососевых. Для СЭМ материал фиксировали 4 % раствором глутарового альдегида на 0,1 М какадилатном буфере, дофиксацию осуществляли 1 % раствором на этом же буфере. После фиксации материал проводили по спиртам возрастающей концентрации вплоть до абсолютного. Перед сушкой материал переносили в абсолютный ацетон. Сушку осуществляли в аппарате ЕКО-3 методом обхода критической точки. Материал просматривали в сканирующем электронном микроскопе Hitachi 405 при ускоряющем напряжении 15 кВ и увеличении $\times 4000$. Полученные в ходе исследования данные в открытой печати ранее опубликованы не были.

При использовании спектрометрического метода проводили регистрацию инфракрасных спектров обоих образцов на ИК-Фурье-спектрометре «СИМЕКС ФТ-801». Для снятия спектров применяли метод нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) с использованием универсальной приставки НПВО, при этом образцы прижимали к кристаллу с помощью специального приспособления для лучшего контакта между частицами образца и кристаллом. Спектры регистрировались при комнатной температуре с дальнейшей обработкой при помощи ПО ZaiR 3.5, диапазон сканирования составлял от 500 см^{-1} до 4000 см^{-1} при разрешении 8 см^{-1} , число сканирования – 34. Опорный спектр фонового воздуха снимался перед каждым сканированием образца. Полученные спектры образцов сравнивали с библиотечным спектром альгината натрия.

Результаты и обсуждение

Основным компонентом оболочки икры-зерна является протеин, в т. ч. фибриллярный, образующий т. н. *zona radiata* [10]. При изготовлении такой имитированной пищевой рыбной продукции, как аналоги икры (искусственная, структурированная или любая иная «икра»), в качестве материала оболочки используются полимеры углеводной природы, например, альгинаты, что обусловлено существующими технологическими ограничениями по получению капсулы сравнительно небольшого размера с белковой оболочкой, обладающей требуемыми реологическими и органолептическими характеристиками [11].

Очевидно, что протеины и полисахариды оболочки образуют различную

структуру. Именно эти различия позволяют применять ИК-спектроскопию и электронную микроскопию в качестве инструментов идентификации как имитированных продуктов, так и рассматриваемых фальсификатов.

Полученное в ходе исследований изображение оболочки имитированной икры на основе альгиновой кислоты (рис. 1) отражает ее образование со-ориентированными волокнообразными структурами, что, очевидно, согласуется с линейной структурной формулой использованного полисахарида (рис. 2). Используемая в сравнении фибриллярная оболочка натуральной икры-зерна имеет меньшую упорядоченность ориентации молекул (рис. 3). Эта разница, на наш взгляд, может быть обусловлена особенностями пространственного строения фибриллярного коллагена (рис. 4), образующего на надмолекулярном уровне тригональные кристаллиты с большими расстояниями между сегментами, ориентированные вдоль оси фибрилл [12, 13]. В свою очередь, внешняя структура коллагена I типа, на примере кожных покровов [14], обладает схожим строением с поверхностью натуральной икры, формирующей основой которой является другой фибриллообразующий коллаген – V типа [15], что подтверждает возможность использования данного морфологического показателя для достоверного различия природных коллагеновых и аналоговых полисахаридных материалов.



Рис. 1. Поверхность оболочки имитированной икры-зерна (увеличение $\times 4000$) [11]
Fig. 1. The surface of the membrane of imitated grain caviar (zoom $\times 4000$) [11]

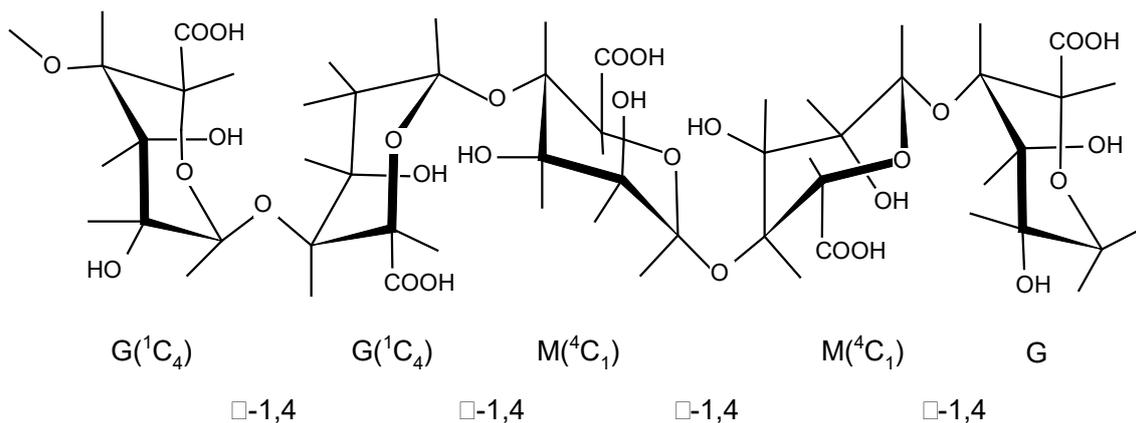


Рис. 2. Структурная формула альгиновой кислоты [17]
Fig. 2. Structural formula of the alginic acid [17]

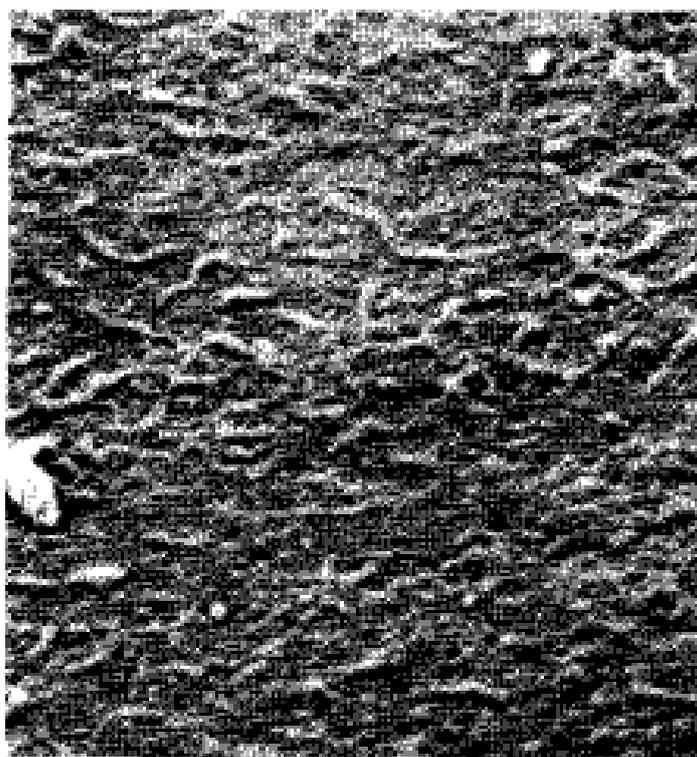


Рис. 3. Поверхность оболочки натуральной икры-зерна кеты
Oncorhynchus keta [10]
Fig. 3. The surface of the membrane of chun salmon *Oncorhynchus keta*
natural grain caviar [10]

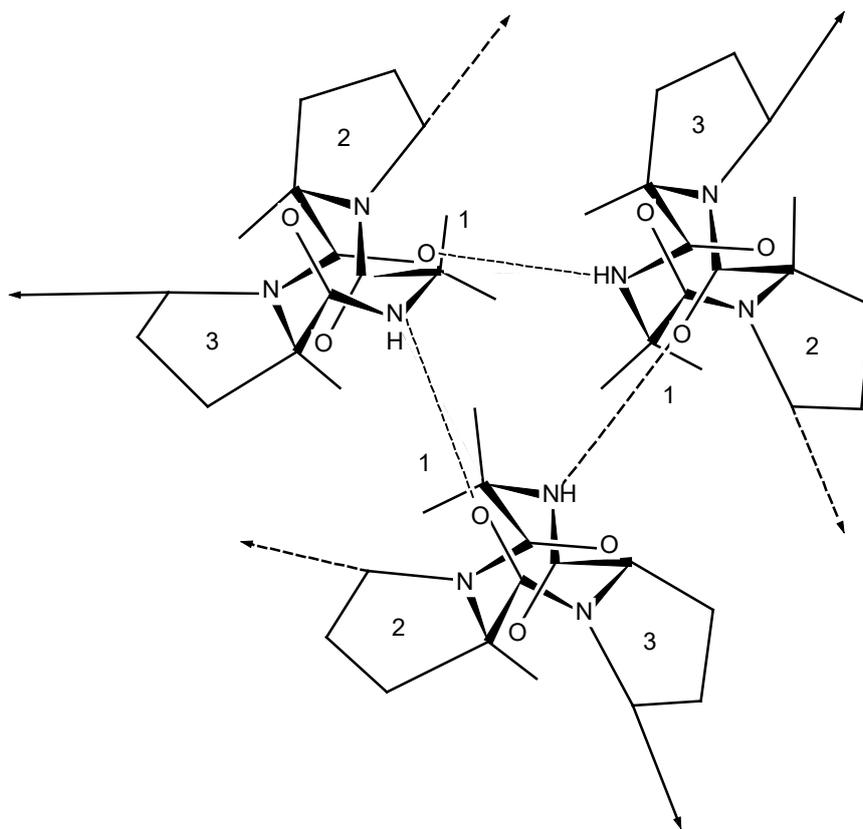


Рис. 4. Расположение спиралей полипролина в коллагене, вид сверху: 1 – глицин; 2 – пролин в положении X; 3 – пролин в положении Y [12]
Fig. 4. Polyproline helices in collagen, top view: 1 – glycine; 2 – proline in X-position; 3 – proline in Y-position [12]

Сравнительный анализ полученного спектра фальсифицированной зернистой лососевой икры (рис. 5a) и альгината натрия [16] показывает, что отличительными маркерами для подтверждения их идентичности могут служить части спектров с волновыми числами в районе $3330\text{--}3331\text{ см}^{-1}$, $1605\text{--}1625\text{ см}^{-1}$ и 1028 см^{-1} . Аналогичное сравнение спектров оболочек икры-зерна и фальсификата (рис. 5b) приводит к достоверному различию, которое характеризуется отсутствием во втором случае пика с волновым числом в районе 1536 см^{-1} . Поскольку пики в диапазоне $1560\text{--}1510\text{ см}^{-1}$ характерны именно для полипептидов [17], то данный факт также подтверждает возможность использования спектрометрического метода для достоверного различия натуральной икры и имитированных/фальсифицированных рыбных пищевых продуктов.

В связи со сложностью пробоподготовки образца и вероятностью появления различных артефактов морфологический анализ представляется использовать в качестве вспомогательного метода наряду со спектрометрическим, который следует применять как основной.

В свою очередь, поскольку метод ИК-спектрометрии базируется на идентификации характерной молекулярной структуры соединений, а для икры любых видов гидробионтов основным компонентом оболочки является коллаген V типа, то предлагаемую нами спектрометрическую методику можно рекомендовать для

апробирования выявления фальсификации всех видов икорной продукции вне зависимости от региона обитания, стадии зрелости или биологического вида сырья.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Морфологический анализ с использованием метода электронной микроскопии и спектрометрический анализ с помощью метода ИК-спектрометрии позволяют достоверно выявлять имитированную/фальсифицированную икру-зерно рыб семейства лососевых, что приводит к упрощению пробоподготовки, снижению временных затрат и стоимости используемого аналитического оборудования при подтверждении натуральности зернистой икры по сравнению с методом ПЦР.

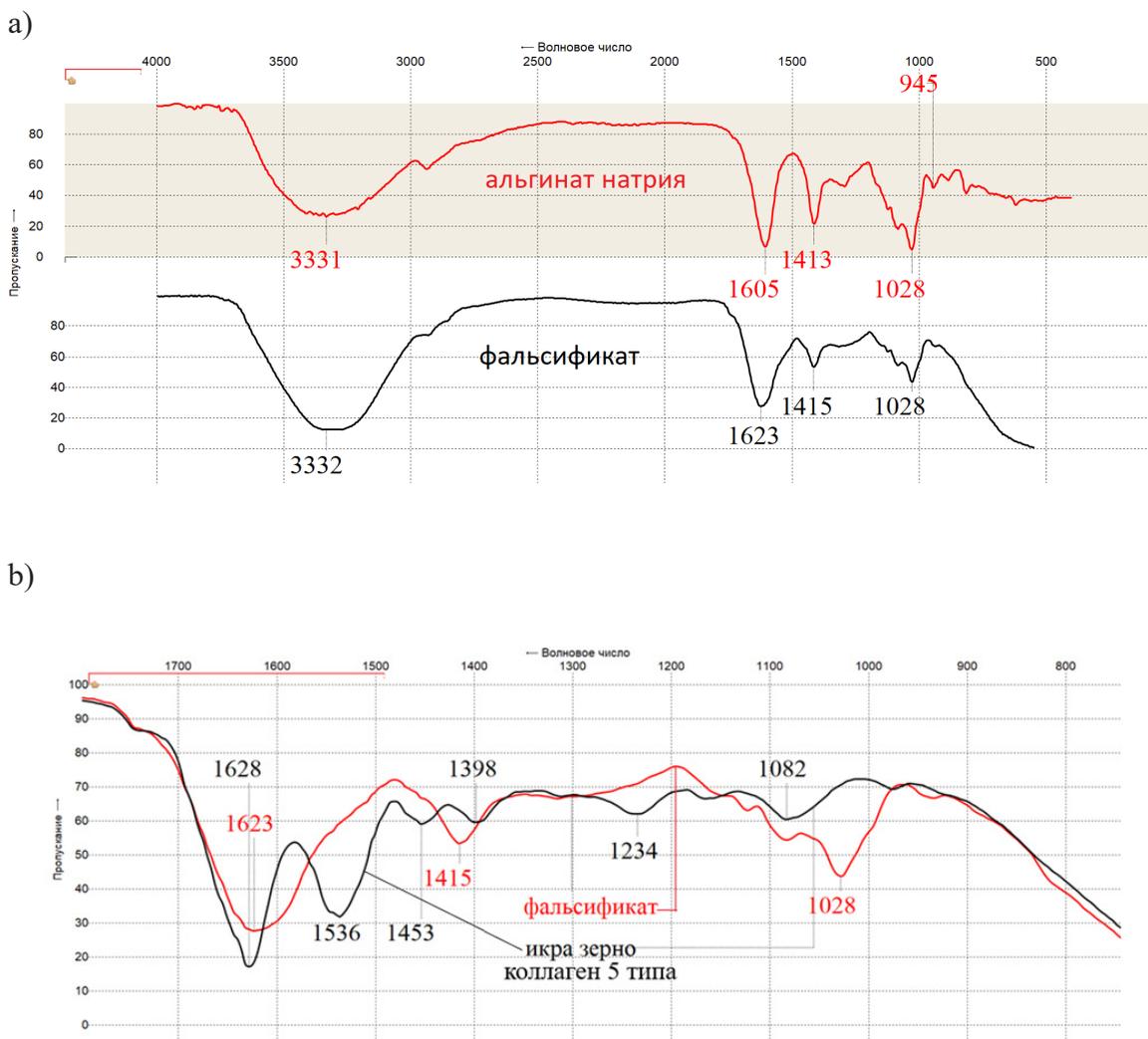


Рис. 5. Сравнительные ИК-спектрограммы: а) оболочки фальсифицированной икры-зерна и альгината натрия; б) оболочки фальсифицированной и натуральной икры-зерна рыб семейства лососевых

Fig. 5. Comparative IR-spectrograms: a) membranes of fraudulent grain caviar and calcium alginate; b) membranes of fraudulent and natural grain caviar of *Salmonidae* family

Список источников

1. Spink J. W. Food fraud prevention. Introduction, implementation and management. New York: Springer, 2019. 627 p.
2. GFSI technical equivalence requirements. Part III – Requirements for the content of standards. CI Processing of perishable animal product : Version 2020 / Global Food Safety Initiative. 2020. 11 p.
3. Пивкина А. Т., Петрова Ю. В. Фальсификация красной икры Дальневосточного региона // Academy. 2020, № 7. С. 67–68.
4. Макеева К. Б., Якушкин И. В. Разработка экспресс-метода ветеринарно-санитарной оценки икры лососевых рыб // Актуальные проблемы ветеринарной науки и практики: сборник материалов Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Омск, 2021. С. 274–276.
5. Шабанова Д. Р., Редькин С. В. Лабораторные методы определения фальсификации икры лососевых рыб // Неделя студенческой науки: материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции. Москва, 2022. С. 294 – 296.
6. Абрамова Л. С., Козин А. В., Гусева Е. С. Проблема фальсификации зернистой икры лососевых рыб и пути решения // Пищевые системы. 2022, Т. 5, № 4. С. 319–326.
7. Гусева Е. С. Метод идентификации икры рыбы для выявления фальсифицированной продукции // Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса: материалы XI Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. Москва, 2023. С. 69–71.
8. Харченко Н. Н., Игонина И. Н., Дунченко Н. И. Современные методы идентификации «черной» икры // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2020, Т. 82. № 3. С. 183–188.
9. Кулешова И. А., Горбулинская И. Н. Актуальные проблемы экспертизы пищевых продуктов (на примере исследований красной икры рыб и ее имитации) // Право, общество, государство: проблемы истории, теории и практики: сборник научных трудов Всероссийской научно-теоретической конференции. Москва, 2023. С. 430–435.
10. Kobayashi W. The fine structure and amino acid composition of the envelope of the chum salmon egg // Jour. Fac. Sci. Hokkaido Univ. 1982, Ser. VI, V. 23, N. 1. 14 p.
11. Воротников Б. Ю. Разработка технологии икры зернистой красной: дисс. ... канд. техн. наук: 05.18.04: утв:15.07.90. Москва, 1990. 233 с.
12. Brinckmann J. Collagens at glance // Collagen primer in structure, processing and assembly / Ed. by J. Brinckmann, H. Notbohm, P. K. Müller. Topics in Current Chemistry. 2005, V. 247. P. 1–6.
13. Collagen. Vol. 1: Biochemistry / Ed. by M. E. Nimni. New York, 2018. 299 p.
14. Gulevsky A. K., Shcheniavsky I. I. Collagen: structure, metabolism, production and industrial application // Biotechnologia Acta. 2020, V. 13, N 5. P. 42–61.
15. Рачкова Н. А., Соклаков В. В., Воротников Б. Ю. Биоэкологический потенциал морского плацентарного коллагена в косметологии // Балтийский мор-

ской форум: материалы IX Международного Балтийского морского форума 4–9 октября 2021 года: в 6 томах. Т. 1. Инновации в науке, образовании и предпринимательстве-2021, XIX Международная научная конференция. Калининград, 2022. С. 60–71.

16. Alginic acid: Specification. JECFA, 2006. 2 p. URL: https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/jecfa_additives/docs/Monograph1/Additive-009.pdf (дата обращения: 27.05.2024).

17. Преч Э., Бюльманн Ф., Аффольтер К. Определение строений органических соединений. Таблицы спектральных данных. Москва, 2006. 438 с.

References

1. Spink J. W. Food fraud prevention. Introduction, implementation and management. New York, Springer, 2019, 627 p.

2. GFSI technical equivalence requirements. Part III – Requirements for the content of standards. CI Processing of perishable animal product : Version 2020. Global Food Safety Initiative. 2020, 11 p.

3. Pivkina A. T., Petrova Yu. V. Fal'sifikatsiya krasnoy ikry Dal'nevostochnogo regiona [Counterfeit of red roe in the Far Eastern region]. *Academy*, 2020, no. 7, pp. 67–68.

4. Makeeva K. B., Yakushkin I. V. Razrabotka ekspress-metoda veterinarno-sanitarnoy otsenki ikry lososyovykh ryb [Development of an express method for veterinary and sanitary assessment of salmon roe]. *Aktual'nye problemy veterinarnoy nauki i praktiki: Sbornik materialov Vserossiyskoy (natsional'noy) nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Actual problems of veterinary science and practice: Collection of materials of the All-Russian (national) scientific and practical conference]. Omsk, 2021, pp. 274–276.

5. Shabanova D. R., Red'kin S. V. Laboratornye metody opredeleniya fal'sifikatsii ikry lososyovykh ryb [Laboratory methods for determining the counterfeit of salmon roe]. *Nedelya studencheskoy nauki: Materialy Vserossiyskoy studencheskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Student science week: Materials of the All-Russian student scientific and practical conference]. Moscow, 2022, pp. 294–296.

6. Abramova L. S., Kozin A. V., Guseva E. S. Problema fal'sifikatsii zernistoy ikry lososyovykh ryb i puti resheniya [The problem of granular salmon roe falsification and solutions]. *Pishchevye sistemy*, 2022, vol. 5, no. 4, pp. 319–326.

7. Guseva E. S. Metod identifikatsii ikry ryby dlya vyyavleniya fal'sifitsirovannoy produktsii [A method for identifying fish roe to detect counterfeit products]. *Sovremennye problemy i perspektivy razvitiya rybokhozyaystvennogo kompleksa: Materialy XI mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchyonykh i spetsialistov* [Modern problems and prospects for the development of the fisheries complex: Materials of the XI International scientific and practical conference of young scientists and specialists]. Moscow, 2023, pp. 69–71.

8. Kharchenko N. N., Igonina I. N., Dunchenko N. I. Sovremennye metody identifikatsii «chyornoy» ikry [Modern methods of identification of "black" caviar]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy*, 2020, vol. 82, no. 3, pp. 183 – 186.

9. Kuleshova I. A., Gorbuninskaya I. N. Aktual'nye problemy ekspertizy pishchevykh produktov (na primere issledovaniy krasnoy ikry ryb i eyo imitatsii) [Actual problems of food examination (using the example of studies of red fish roe and its imitation)]. *Pravo, obshchestvo, gosudarstvo: problemy istorii, teorii i praktiki: Sbornik nauchnykh trudov Vserossiyskoy nauchno-teoreticheskoy konferentsii* [Law, society, state: problems of history, theory and practice: collection of scientific papers of the All-Russian scientific and theoretical conference]. Moscow, 2023, pp. 430–435.

10. Kobayashi W. The fine structure and amino acid composition of the envelope of the chum salmon egg. *Jour. Fac. Sci. Hokkaido Univ.* 1982, Ser. VI, vol. 23, no. 1, 14 p.

11. Vorotnikov B. Yu. *Razrabotka tekhnologii ikry zernistoy krasnoy*. Diss. kand. tekhn. nauk [Development of the grain red roe technology. Dis. PhD eng. sci.]. Moscow, 1990, 233 p.

12. Brinckmann J. Collagens at glance. Collagen primer in structure, processing and assembly. Ed. by J. Brinckmann, H. Notbohm, P. K. Müller. *Topics in Current Chemistry*, 2005, vol. 247, pp. 1–6.

13. Collagen. Vol. 1: Biochemistry. Ed. by M. E. Nimni. Boca Raton: CRC Press, 2018, 299 p.

14. Gulevsky A. K., Shcheniavsky I. I. Collagen: structure, metabolism, production and industrial application. *Biotechnologia Acta*, 2020, vol. 13, no. 5, pp. 42–61.

15. Rachkova N. A., Soklakov V. V., Vorotnikov B. Yu. Bioekologicheskiy potentsial morskogo platsentarnogo kollagena v kosmetologii [Bioecological potential of marine placental collagen in cosmetology]. *Baltiyskiy morskoy forum: materialy IX Mezhdunarodnogo Baltiyskogo morskogo foruma 4-9 oktyabrya 2021 goda: v 6 tomakh. T. 1. «Innovatsii v nauke, obrazovanii i predprinimatel'stve – 2021», XIX Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya* [Baltic Maritime Forum: Proceedings of the IX International Baltic Maritime Forum, October 4-9, 2021: in 6 volumes. Vol. 1. "Innovations in science, education and entrepreneurship – 2021", XIX International scientific conference]. Kaliningrad, 2022, pp. 60–71.

16. Alginic acid: Specification. JECFA, 2006. 2 p., available at: https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/jecfa_additives/docs/Monograph1/Additive-009.pdf (accessed 27 May 2024).

17. Prech E., Byul'mann F., Affol'ter K. *Opredelenie stroeniy organicheskikh soedineniy. Tablitsy spektral'nykh dannykh* [Determination of the structure of organic compounds. Spectral data tables]. Moscow, 2006, 438 p.

Информация об авторах

Б. Ю. Воротников – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой химии

В. В. Сохлаков – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии продуктов питания, e-mail: vvsoklakov@ya.ru

А. Г. Булычев – кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры химии, e-mail: aleksandr.bulychev@klgtu.ru

Н. А. Рачкова – инженер 1-й категории кафедры химии, e-mail: natalya.rachkova@klgtu.ru

Information about the authors

B. Yu. Vorotnikov – PhD in Engineering, associate professor, Head of the Department of Chemistry

V. V. Soklakov – PhD in Engineering, associate professor at the Department of Food Products, e-mail: vvsoklakov@ya.ru

A. G. Bulychyov – PhD in Chemistry, associate professor at the Department of Chemistry, e-mail: aleksandr.bulychev@klgtu.ru

N. A. Rachkova – 1st Category Engineer, Department of Chemistry, e-mail: natalya.rachkova@klgtu.ru

Статья поступила в редакцию 01.07.2024; одобрена после рецензирования 09.07.2024; принята к публикации 10.09.2024.

The article was submitted 01.07.2024; approved after reviewing 09.07.2024; accepted for publication 10.09.2024.