



КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТЬ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО СЫРЬЯ  
И ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ

QUALITY CONTROL AND SAFETY  
OF AGRICULTURAL RAW MATERIALS  
AND PROCESSED PRODUCTS

УДК 639.38:658.626

DOI:10.31677/2311-0651-2024-45-3-7-15

**ВЫЯВЛЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА ТИЛЯПИИ В РЫБНОЙ  
ПРОДУКЦИИ МЕТОДОМ ПЦР В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ**

**М.С. Красникова**, кандидат биологических наук

**М.Б. Брюсова**, кандидат биологических наук

**А.Д. Козлова**, кандидат биологических наук

**Н.С. Горбачева**, научный сотрудник

**К.Г. Долинская**, специалист

**С.П. Яцентюк**, кандидат биологических наук

*Всероссийский государственный центр качества и стандартизации лекарственных средств  
для животных и кормов*

E-mail: pcr-lab@vgnki.ru

**Ключевые слова:** рыбная продукция, рыба, тилапия, фальсификация, ДНК, ПЦР в режиме реального времени.

Реферат. Разработана методика детекции и полуколичественной оценки наличия тилапии в рыбной продукции с помощью полимеразной цепной реакции в режиме реального времени с целью выявления фактов подмены тилапией более ценных и дорогих видов рыбы. Методика основана на применении мультиплексной ПЦР для выявления фрагмента гена родопсина специфичного для тилапий родов *Oreochromis*, *Sarotherodon* и *Coptodon*, с одновременной амплификацией внутреннего эндогенного контроля. Проведено сравнение методов экстракции ДНК из нескольких видов рыбной продукции. Показано, что для выделения ДНК могут использоваться преципитационный и сорбционные методы экстракции, а экспресс-метод можно использовать для выделения ДНК из образцов однокомпонентной продукции (фарши и филе) в целях сокращения временных затрат на исследование. При исследовании контрольной панели образцов ДНК различных видов рыб методика показала 100 % специфичность. Предел абсолютной чувствительности методики выявления генетического материала тилапий составил 200 копий на реакцию. Предел обнаружения составил 0,05 %<sub>масс.</sub>

Методика апробирована при тестировании 83 образцов однокомпонентной и 28 образцов многокомпонентной рыбной продукции, отобранных из различных торговых точек г. Москвы и Московской области. В двух образцах выявлена ДНК тилапий, не заявленная в составе продукции. Доля выявленной ДНК тилапии находилась в пределах 0,1– %<sub>масс.</sub>, что может свидетельствовать о случайной контаминации при производстве. На этом основании существующие требования к маркировке рыбной продукции нуждаются в уточнении в связи с допустимостью подобных примесей. Предложенная методика может использоваться для контроля правильности маркировки рыбной продукции.

## DETECTION OF TILAPIA DNA IN FISH PRODUCTS BY REAL-TIME PCR

**M.S. Krasnikova**, PhD in Biological Sciences

**M.B. Bryusova**, PhD in Biological Sciences

**A.D. Kozlova**, PhD in Biological Sciences

**N.S. Gorbacheva**, Researcher

**K.G. Dolinskaya**, Specialist

**S.P. Yatsentyuk**, PhD in Biological Sciences

*The Russian State Center for Animal Feed and Drug Standardization and Quality*

**Keywords:** fish products, fish, tilapia, falsification, DNA, real-time PCR.

*Abstracts. A method has been developed for the detection and semi-quantitative assessment of tilapia content in fish products using polymerase chain reaction in real time in order to identify facts of substitution of more valuable and expensive fish species with tilapia. The method is based on the use of multiplex PCR to identify a fragment of the rhodopsin gene specific to tilapia genera Oreochromis, Sarotherodon and Coptodon with simultaneous amplification of internal endogenous control. A comparison of methods for DNA extraction from several types of fish products was carried out. It has been shown that precipitation and sorption extraction methods can be used to isolate DNA, and the express method can be used to isolate DNA from samples of single-component products (minced meat and fillet) in order to reduce the time spent on studying these samples. Examining a control panel of DNA samples from various fish species, the method showed 100 % specificity. The absolute sensitivity limit of the method for identifying tilapia genetic material was 200 copies/reaction. The detection limit of the method was 0.05 wt%. The method was approved by testing 83 samples of single-component and 28 samples of multi-component fish products selected from various retail outlets in Moscow and the Moscow region. Two samples contained tilapia DNA that was not declared in the product. The proportion of tilapia DNA detected was in the range of 0.1 % - 1 %, that may indicate accidental contamination during production. The existing requirements for the labeling of fish products are discussed in connection with the admissibility of such impurities. The proposed methodology can be used to monitor the correct labeling of fish.*

Увеличение спроса на рыбную продукцию и развитие отрасли аквакультуры ведет к возрастанию рисков фальсификации рыбы и рыбных продуктов. Исследования, проведенные на зарубежных рынках, показали, что значительный процент рыбной продукции, реализуемой в точках общепита и в розничной торговле, не соответствует заявленной таксономической принадлежности рыбы [1–3]. Недостоверная информация в данных маркировки зачастую связана с использованием другого вида рыбного сырья: происходит подмена ценных видов рыбы более дешевыми, а также диких видов – аквакультурными. Последствия недостоверной маркировки могут представлять серьезный риск для здоровья потребителей [4].

В странах, строго регламентирующих и контролирующих маркировку рыбной продукции, количество преднамеренных подмен удается удерживать на низком уровне [5, 6].

В Российской Федерации действует ряд законов, регламентирующих маркировку пищевой и, в частности, рыбной продукции [7 – 9]. Однако вопрос фальсификации рыбной продукции в стране актуален. В исследованиях, проведенных Россельхознадзором и Роспотребнадзором, неоднократно были выявлены случаи недостоверной информации о заявленных видах рыб в рыбной продукции и несоответствия маркировки фактическому составу продукта [10–12].

Недобросовестные производители зачастую пользуются тем, что в переработанном виде определить видовой состав рыбы, использованной при изготовлении рыбной продукции, без проведения специальных анализов крайне затруднительно. Согласно ТР ЕАЭС 040/2016 [8], для идентификации рыбы и рыбного сырья готовой продукции используются визуальный и органолептический методы, а при неинформативности указанных методов применяют аналитические подходы, в том числе метод ПЦР.

Тилапии – обобщённое название для нескольких сотен видов рыб, относящихся к разным родам. В соответствии с современной систематикой тилапий относят к отряду цихлообразные (*Cichliformes*), семейству цихловые (*Cichlidae*), подсемейству псевдокренилабрысы (*Pseudocrenilabrinae*). Наиболее широко в мировой аквакультуре используются тилапии, относящиеся к родам *Oreochromis*, *Sarotherodon* и *Coptodon*.

Тилапия является пресноводным аквакультурным объектом и, согласно исследованиям, довольно часто используется для фальсификации продукции из более дорогих видов морских рыб. Так, в зарубежных источниках чаще всего упоминается подмена тилапией такого ценного вида рыб, как *Lutjanus campechanus* (северного красного люциана). Особенно часто фальсификация красного люциана отмечалась в крупных сетевых ресторанах США [13, 14]. Встречались случаи подмены тилапией и таких рыб, как сиг, сибас, группер, средиземноморский окунь, белый тунец [13, 15, 16]. В России тилапия также популярна, однако на территории РФ выращивается в небольшом количестве и практически полностью импортируется из стран азиатского региона.

Было проведено исследование с целью разработки методики анализа направленного на выявление ДНК тилапии в рыбопродукции, для исключения фальсификации продукции и подтверждения информации, заявленной на маркировке и/или в товарно-сопроводительной документации.

Объектами исследования явились 83 образца филе и тушек различных видов рыбы, в соответствии с маркировкой продукции относящихся к отрядам: лососеобразных (22 образца), трескообразных (17), карпообразных (10), сомообразных (7), скумбриеобразных (6), окунеобразных (4), цихлообразных (4), камбалообразных (4), сельдеобразных (2), щукообразных (2), спарообразных (1), угреобразных (1), моронообразных (1), корюшкообразных (1), марлинообразных (1); и 28 образцов многокомпонентной рыбной продукции: рыбные котлеты (11 образцов), крабовые палочки (6), другие полуфабрикаты из рыбного фарша (4), салаты с рыбой (2), готовые рыбные блюда из заведений общественного питания (2), рыбные кусочки в желе (1), сушено-вяленая рыбная продукция (1), роллы (1).

Для оценки специфичности методики использовали контрольную панель образцов ДНК промысловых видов костистых рыб, представленную в таблице 1. Дополнительно в исследовании были включены образцы ДНК млекопитающих и птиц: свиньи домашней (*Sus scrofa*), быка домашнего (*Bos taurus*), кошки домашней (*Felis catus*), собаки домашней (*Canis lupus familiaris*), мыши домовая (*Mus musculus*), серой крысы (*Rattus norvegicus*), курицы домашней (*Gallus gallus*). Видовую идентификацию образцов контрольной панели проводили методом секвенирования митохондриального генома по ГОСТ 34106-2017 [17].

Таблица 1

Контрольная панель образцов ДНК промысловых видов рыб  
Control panel of DNA samples from commercial fish species

Отряд	Вид	Наименование
1	2	3
Карпообразные <i>Cypriniformes</i>	<i>Carassius sp.</i>	карась
	<i>Abramis brama</i>	лещ
Сомообразные <i>Siluriformes</i>	<i>Silurus glanis</i>	сом европейский
	<i>Pangasianodon hypophthalmus</i>	пангасиус
	<i>Clarias gariepinus</i>	африканский клариевый сом

Окончание табл. 1

1	2	3
Лососеобразные <i>Salmoniformes</i>	<i>Oncorhynchus keta</i>	кета
	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	форель радужная
	<i>Oncorhynchus nerka</i>	нерка
	<i>Salmo salar</i>	лосось атлантический
	<i>Coregonus autumnalis</i>	омуль
	<i>Coregonus lavaretus</i>	обыкновенный сиг
	<i>Coregonus pidschian</i>	пыжьян
Щукообразные <i>Esociformes</i>	<i>Esox lucius</i>	щука обыкновенная
Корюшкообразные <i>Osmeriformes</i>	<i>Osmerus eperlanus</i>	корюшка
Трескообразные <i>Gadiformes</i>	<i>Merluccius hubbsi</i>	хек
	<i>Melanogrammus aeglefinus</i>	пикша
	<i>Gadus microcephalus</i>	треска
	<i>Gadus chalcogrammus</i>	минтай
	<i>Eleginus gracilis</i>	дальневосточная навага
Цихлообразные <i>Cichliformes</i>	<i>Oreochromis niloticus</i>	тиляпия
Сарганообразные <i>Beloniformes</i>	<i>Cololabis saira</i>	сайра тихоокеанская
Ставридообразные <i>Carangiformes</i>	<i>Seriola quinqueradiata</i>	жёлтохвостая лакедра
Камбалообразные <i>Pleuronectiformes</i>	<i>Atheresthes stomias</i>	палтус стрелозубый
	<i>Limanda aspera</i>	камбала желтоперая
Скумбриеобразные <i>Scombriformes</i>	<i>Thunnus albacares</i>	желтоперый тунец
	<i>Scomber scombrus</i>	скумбрия атлантическая
	<i>Lepidocybium flavobrunneum</i>	серая макрель/эсколар
Окунеобразные <i>Perciformes</i>	<i>Sander lucioperca</i>	обыкновенный судак
Скорпенообразные <i>Scorpaeniformes</i>	<i>Anarhichas denticulatus</i>	зубатка
	<i>Sebastes mentella</i>	окунь морской
Моронообразные <i>Moroniformes</i>	<i>Dicentrarchus labrax</i>	обыкновенный лаврак/сибас
Хирургообразные <i>Acanthuriformes</i>	<i>Argyrosomus regius</i>	обыкновенный серебристый горбыль
Спарообразные <i>Spariformes</i>	<i>Sparus aurata</i>	золотистый спар/дорада

Отбор проб рыбной продукции проводили в соответствии с ГОСТ 31719-2012 [18]: от каждой пробы отбирали не менее 10 фрагментов по 0,5–1 г, измельчали и растирали в фарфоровой ступке до гомогенного состояния. Измельченный материал перемешивали, отбирали от гомогенной средней пробы 80–100 мг образца.

Выделение суммарной ДНК из образцов рыбной продукции проводили с использованием коммерческих наборов: Проба-Рапид (ДНК-Технология), ДНК Сорб-ГМО Б (Синтол), ДНК-Сорб-СМ (АмплиСенс), ДНК-Сорб-В (АмплиСенс), Рибо-преп (АмплиСенс).

Выбор олигонуклеотидов осуществляли на основании выравнивания нуклеотидных последовательностей, представленных в базе данных GenBank с использованием программного обеспечения AlignX (Vector NTI Advance 11.5.0). Характеристики выбранных олигонуклеотидов анализировали с помощью интернет-сервиса IDT OligoAnalyzer Tool [19].

Мультиплексную ПЦР в режиме реального времени проводили на амплификаторах CFX96 (Bio-Rad), Rotor-Gene Q (Qiagen) и ДТпрайм (ДНК-Технология). Реакции проводили с использованием олигонуклеотидов в концентрации 1 пмоль на реакцию (ЗАО «Евроген», НПК «Синтол»), реагента 5X Fast probe qPCR Mastermix (ООО БелБиоЛаб).

Данные анализировали с помощью программного обеспечения амплификаторов. По полученным значениям Ct проводили расчет относительного стандартного отклонения RSD по формуле:

$$RSD = \frac{SD}{\text{среднее значение} \frac{\text{копии}}{\text{реакция}}} * 100\%$$

где SD – стандартное отклонение.

Для определения предела чувствительности методики были подготовлены серии последовательных десятикратных разведений рекомбинантной плазмиды *pAL2-T*, содержащей искусственно синтезированный фрагмент гена родопсина ДНК рыб тилапий (*Til*) с известной концентрацией.

В работе использовали подготовленные гомогенные весовые модельные образцы, содержащие 10,000; 1,000; 0,100; 0,050; 0,010; 0,001 фарша тилапии в фарше трески по массе (%<sub>масс</sub>).

Также были подготовлены калибровочные стандарты, представляющие собой смеси рекомбинантной плазмиды *Til* и плазмиды, содержащей участок элемента *Vista Enhancer 289*. Соотношение плазмид соответствовало содержанию 10,0 1,0 и 0,1 %<sub>масс</sub> тилапии в весовых модельных образцах.

В результате проведенных исследований разработана методика выявления генетического материала тилапий в рыбной продукции с помощью полимеразной цепной реакции в режиме реального времени.

Для амплификации фрагмента однокопийного гена родопсина тилапий выбраны олигонуклеотиды *Til-rhod-F1* 5'-GAAGTCACCCGCATGGTTGTT-3', *Til-rhod-R2* 5'-TTCAGATCCCTGATGCGTG-3', *Til-rhod-Z2* 5'-R6G-CTCCGGCATAGGGCAGCCAACATATCAG-BHQ2-3'. Множественные выравнивания гена родопсина разных видов рыб, представленных в базе данных GenBank, показали достаточную специфичность выбранных олигонуклеотидов для детекции тилапий родов *Oreochromis*, *Sarotherodon* и *Coptodon* среди промысловых рыб.

Для оценки качества этапа экстракции ДНК из образца в процессе ПЦР осуществляется одновременная детекция фрагмента *Vista Enhancer 289* животных, высококонсервативного у рыб, млекопитающих и птиц [20].

Для подбора оптимальной температуры отжига олигонуклеотидов проводили амплификацию с температурным градиентом от 57 °С до 65 °С. Итоговая программа термоциклирования представлена в таблице 2.

Таблица 2

Программа амплификации для выявления генетического материала тилапий в рыбной продукции  
Amplification program for the detection of tilapia genetic material in fish products

Этап	Температура, °С	Время	Измерение флуоресценции	Кол-во циклов
1	95	2 мин.	–	1
2	95	10 с	–	5
	65	20 с	–	
	72	10 с	–	
3	95	10 с	–	35
	60	20 с	Green (FAM), Yellow (R6G)	
	72	10 с	–	

При исследовании панели, состоящей из 33 образцов разных видов рыб, 6 образцов млекопитающих и 1 образца домашней птицы, показано, что с помощью выбранных олигонуклеотидов детектируется ДНК тилапий и не детектируется ДНК нецелевых видов.

Анализ результатов амплификации серии разведений рекомбинантной плазмиды T11 показал, что абсолютная чувствительность методики составляет 200 копий/реакцию.

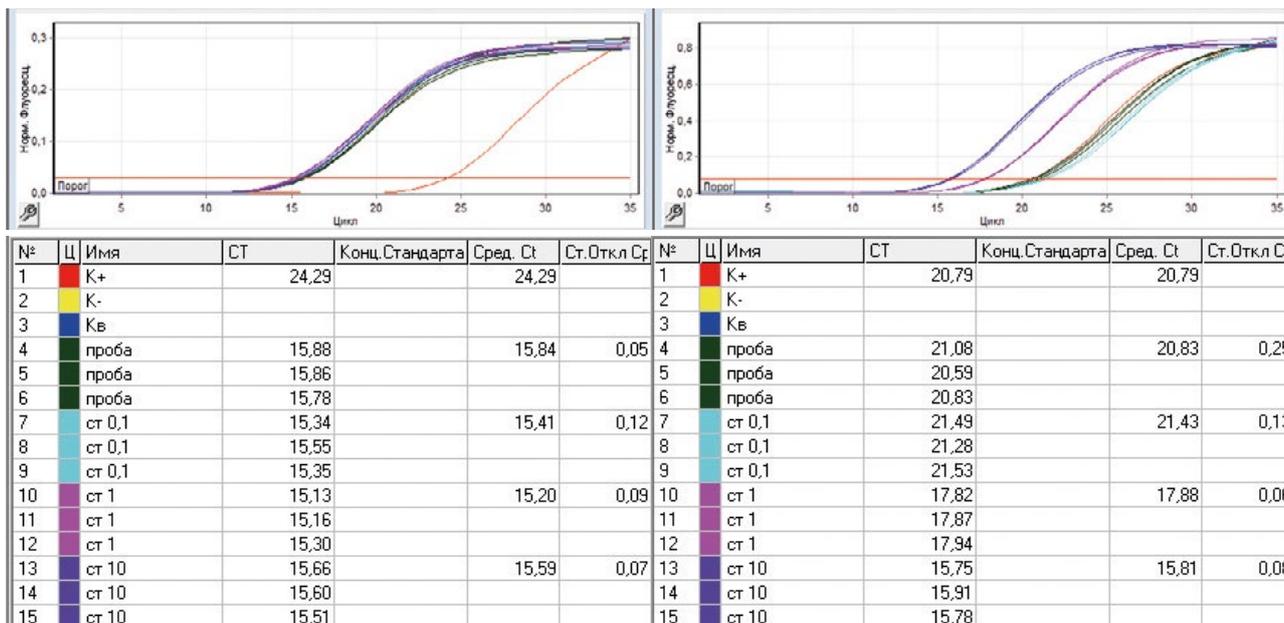
Показано, что подобранная система олигонуклеотидов достоверно выявляет наличие ДНК тилапии в модельном образце, содержащем 0,05 %<sub>масс</sub> фарша тилапии в фарше трески, с учетом относительного стандартного отклонения RSD на пределе чувствительности не выше 25 %.

Для определения доли тилапии в рыбной продукции предлагается одновременно с амплификацией образцов проводить амплификацию калибровочных стандартов, соответствующих 10, 1, и 0,1 %<sub>масс</sub> тилапии в весовых модельных образцах.

Проведены дополнительные исследования по выбору оптимального способа выделения ДНК из разных видов рыбной продукции. Экстракция ДНК из образцов рыбного филе, фарша, рыбы в соусе, рыбных котлет, рыбных пельменей, сушеной рыбы, роллов, рыбных консервов в соусе, крабовых палочек проводилась с использованием коммерческих наборов для экстракции. При анализе результатов амплификации фрагмента геномного элемента VE289 было выявлено, что для всех типов рыбной продукции могут использоваться преципитационный и сорбционные методы экстракции. Ранее нами уже проводились исследования по определению возможности использования экспресс-методов выделения ДНК из однокомпонентной рыбной продукции при анализе митохондриальных (многокопийных) генов-мишеней, и было показано, что экспресс-метод подходит для выделения ДНК из такой продукции, как рыбное филе, рыбный фарш, в том числе термически обработанной [21]. Полученные в настоящей работе результаты показали, что экспресс-метод можно использовать для анализа однокомпонентной продукции независимо от выбранного гена мишени (однокопийного или многокопийного) в целях ускорения тестирования подобных образцов.

Апробация предложенной методики проведена на 83 образцах однокомпонентной и 28 образцах многокомпонентной рыбной продукции. В результате скрининга в двух образцах многокомпонентной продукции (крабовые палочки, котлеты из трески) обнаружена ДНК тилапии, не заявленная производителем в составе пищевого продукта. С помощью стандартных образцов определено, что количество тилапии в данной продукции находится в диапазоне 0,1–1 %<sub>масс</sub>. Такие количества, очевидно, не являются преднамеренной подменой, однако, в соответствии с действующим Техническим Регламентом Таможенного союза ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки», п. 4.4 [9], все компоненты, входящие в состав пищевой продукции, должны указываться при маркировке продукта. На законодательном уровне не регламентировано минимальное процентное содержание незаявленного компонента, которое можно считать случайной или технически неустраняемой примесью, попадающей в продукт при производстве в одном фабричном цехе, при невозможности полной очистки производственной линии от примесей и/или при совместной транспортировке продукции. Представляется целесообразной выработка критериев для дифференциации возможной фальсификации рыбной продукции от следовых количеств незаявленных ингредиентов.

В целях дифференциации преднамеренных подмен от случайной контаминации был проведен эксперимент по детекции ДНК тилапий в образце филе минтая после совместного хранения с филе тилапии. Для этого образцы филе подвергли размораживанию и хранению при +5 °С в течение суток в одной таре. Затем из филе минтая были отобраны пробы в соответствии с ГОСТ 31719-2012 и выделена суммарная ДНК. Результат амплификации выделенной ДНК по предлагаемой методике показал содержание ДНК тилапии в исследуемом образце в диапазоне 0,1–1 %<sub>масс</sub> (см. рис.). На основании проведенного эксперимента содержание тилапии менее 1 %<sub>масс</sub>, теоретически можно считать случайной контаминацией, а не преднамеренной подменой.



Графики накопления флуоресцентного сигнала и значения Ct при амплификации образца ДНК, выделенной из контаминированного тилапией филе минтая (зеленые кривые) и калибровочных стандартов (10 % – фиолетовые, 1 % – розовые, 0,1 % – голубые кривые)

Graphs of fluorescent signal accumulation and Ct values during amplification of a DNA sample isolated from tilapia-contaminated pollock fillets (green curves) and calibration standards (10% purple, 1% pink, 0.1% blue curves)

Разработанная методика особенно актуальна для выявления фальсификации тилапией продукта, в котором определить видовую принадлежность рыбы традиционными органолептическими и физико-химическими методами (в случае измельченной рыбной продукции) и методом секвенирования фрагментов митохондриального генома (в случае многокомпонентной продукции) не представляется возможным.

Таким образом, основным итогом выполненных исследований стала разработанная методика определения наличия ДНК тилапии в образцах рыбной продукции, позволяющая проводить полуколичественную оценку содержания тилапии в образце. Также использование данной методики позволит определять подмену ценных сортов рыбы менее ценной аквакультурной тилапией и дифференцировать возможную фальсификацию продукции от следовых количеств незаявленных ингредиентов (технологической примеси).

Методика показала 100 % специфичность на предложенной панели образцов, абсолютную чувствительность 200 копий/реакцию и предел обнаружения 0,05 % тилапии в образце.

Были протестированы различные методы экстракции ДНК из рыбной продукции с помощью коммерческих наборов и предложены оптимальные: экспресс-метод для выделения ДНК из однокомпонентных, преципитационный и сорбционные методы – из многокомпонентных продуктов.

С помощью разработанной методики проверены 111 образцов рыбной продукции, в составе которых не заявлена тилапия. В двух образцах выявлено наличие незаявленной тилапии в диапазоне 0,1–1 %, что составляет 1,8 % от выборки.

Предложенная методика может использоваться для контроля маркировки рыбной продукции.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Report: Operation OPSON V 2015 / Interpol-Europol, 2016 [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.interpol.europa.eu/sites/default/files/documents/report\\_opson\\_v.pdf](https://www.interpol.europa.eu/sites/default/files/documents/report_opson_v.pdf) (дата обращения 16.04.2024).

2. *Ropicki A.J., Larkin S.L., Adams C.M.* Seafood substitution and mislabeling: WTP for a locally caught grouper labeling program in Florida // *Mar. Resour. Econ.* – 2010. – Vol. 1, № 25. – P. 77–92.
3. *Warner K., Timme W., Lowel B.* Widespread Seafood Fraud Found in New York City: report / Oceana (non-profit group) [Электронный ресурс]. – NY, 2012. – URL: [https://oceana.org/wp-content/uploads/sites/18/Oceana\\_NYC\\_Seafood\\_Fraud\\_Report\\_FINAL.pdf](https://oceana.org/wp-content/uploads/sites/18/Oceana_NYC_Seafood_Fraud_Report_FINAL.pdf) (дата обращения 16.04.2024).
4. *Focardi S.* Levels of mercury and polychlorobiphenyls in commercial food in Siena Province (Tuscany, Italy) in the period 2001–2010 // *Microchem. J.* – 2012. – Vol. 105. – P. 60–64.
5. *Günther B., Raupach M.J., Kneblsberger T.* Full-length and mini-length DNA barcoding for the identification of seafood commercially traded in Germany // *Food Control.* – 2017. – Vol. 73, Part B. – P. 922–929.
6. *DNA barcoding of fish species reveals low rate of package mislabeling in Qatar / Chen K.C. [et al.] // Genome.* – 2019. – Vol. 62, № 2. – P. 69–76.
7. *О качестве и безопасности пищевых продуктов: федер. закон от 02.01.2000 № 29-ФЗ* [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_25584/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_25584/) (дата обращения 16.04.2024).
8. *О безопасности рыбы и рыбной продукции: технический регламент Евразийского экономического союза ТР ЕАЭС 040/2016* [Электронный ресурс]. – URL: [https://mskstandart.ru/upload/file/040-2016\\_o\\_bezопасnosti\\_rybnoy\\_produccii.pdf](https://mskstandart.ru/upload/file/040-2016_o_bezопасnosti_rybnoy_produccii.pdf) (дата обращения 16.04.2024).
9. *Пищевая продукция в части ее маркировки / технический регламент Таможенного союза ТР ТС 022/2011* [Электронный ресурс]. – URL: <https://mskstandart.ru/upload/file/022-2011-markirovka.pdf> (дата обращения 16.04.2024).
10. *При проверке склада консервного завода в городе Москве выявлена фальсификация рыбной продукции // Региональные новости федеральной службы по ветеринарному и фитосанитарному надзору Россельхознадзора (14 ноября 2023 г.)* [Электронный ресурс]. – URL: <https://fsvps.gov.ru/news/pri-proverke-sklada-konservnogo-zavoda-v-gorode-moskve-vyjavlena-falsifikacija-rybnoj-produkcii/> (дата обращения: 23.04.2024).
11. *Об обороте фальсифицированной рыбной продукции // Новости «ФБУЗ Центр гигиены и эпидемиологии в Тульской области» (14 декабря 2022 г.)* [Электронный ресурс]. – URL: <https://71.gospotrebnadzor.ru/content/475/116251/> (дата обращения: 23.04.2024).
12. *Ликарчук Ю.* Россельхознадзор зафиксировал всплеск фальсификации рыбной продукции // Информационный портал Ветеринария и жизнь [Электронный ресурс]. – URL: <https://vetandlife.ru/sobytiya/rosselhoznadzor-zafiksiroval-vsplek-falsifikacii-rybnoj-produkcii/> (дата обращения: 23.04.24).
13. *Spencer E.T., Bruno J.F.* Fishy Business: Red Snapper Mislabeling Along the Coastline of the Southeastern United States // *Frontiers in Marine Science.* – 2019. – Vol. 6, Art. 513.
14. *A high proportion of red snapper sold in North Carolina is mislabeled / E.T. Spencer [et al.] // PeerJ.* – 2020. – Vol. 8, Art. e9218.
15. *Wong H. K., Hanner R. H.* DNA barcoding detects market substitution in North American seafood // *Food Research International.* – 2008. – Vol. 41. – P. 828–837.
16. *Molecular barcoding reveals mislabelling of commercial fish products in Italy / L. Filonzi [et al.] // Food Research International.* – 2010. – Vol. 43, No. 5. –P. 1383–1388.
17. *ГОСТ 34106-2017 Продукция пищевая и сырье. Метод секвенирования фрагментов митохондриального генома животных и рыб для определения видовой принадлежности в однокомпонентной продукции* [Электронный ресурс]. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/64819/> (дата обращения 16.04.2024).
18. *ГОСТ 31719-2012 Продукты пищевые и корма. Экспресс-метод определения сырьевого состава (молекулярный)* [Электронный ресурс]. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/52868/> (дата обращения 16.04.2024).
19. *IDT OligoAnalyzer* [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.idtdna.com/calc/analyzer> (дата обращения 16.04.2024).
20. *Выбор последовательностей для внутреннего контроля для использования в ПЦР-методиках определения видовой принадлежности компонентов пищевой продукции / А.В. Путинцева, Н.А. Кирсанова, О.О. Леухина, Е.В. Крылова // Наука молодых – будущее России: сб. ст. 7-й Междунар. науч. конф. перспективных разработок молодых ученых (Курск, 12–13 декабря, 2022 г.). – Курск, 2022. – С. 328–331.*

21. Качественное выявление генетического материала тилапий в однокомпонентной рыбной продукции / А.Д. Козлова, М.С. Красникова, Н.С. Горбачева [и др.] // Молекулярная диагностика 2023: сб. тр. XI междунар. науч.-практ. конф. (Москва, 14–16 ноября 2023 г.). – М.: АО «СМП», 2023. – С. 372–373.

## REFERENCES

1. Report: Operation OPSON V 2015, Interpol-Europol, 2016, available at: [https://www.europol.europa.eu/sites/default/files/documents/report\\_opson\\_v.pdf](https://www.europol.europa.eu/sites/default/files/documents/report_opson_v.pdf) (April 16, 2024).
2. Ropicki A.J., Larkin S.L., Adams C.M. Seafood substitution and mislabeling: WTP for a locally caught grouper labeling program in Florida, *Mar. Resour. Econ*, 2010, Vol. 1, No. 25, P. 77–92.
3. Warner K., Timme W., Lowel B. Widespread Seafood Fraud Found in New York City: report / Oceana (non-profit group), NY, 2012, available at: [https://oceana.org/wp-content/uploads/sites/18/Oceana\\_NYC\\_Seafood\\_Fraud\\_Report\\_FINAL.pdf](https://oceana.org/wp-content/uploads/sites/18/Oceana_NYC_Seafood_Fraud_Report_FINAL.pdf) (April 16, 2024).
4. Focardi S. Levels of mercury and polychlorobiphenyls in commercial food in Siena Province (Tuscany, Italy) in the period 2001–2010, *Microchem. J.*, 2012, Vol. 105, P. 60–64.
5. Günther B., Raupach M.J., Knebelberger T. Full-length and mini-length DNA barcoding for the identification of seafood commercially traded in Germany // *Food Control*, 2017, Vol. 73, Part B, P. 922–929.
6. Chen K.C., Zakaria D., Altarawneh H., Andrews G.N., Ganesan G.S., John K.M., Khan S., Ladumor H., DNA barcoding of fish species reveals low rate of package mislabeling in Qatar, *Genome*, 2019, Vol. 62, N 2, P. 69–76.
7. O kachestve i bezopasnosti pishhevnykh produktov: feder. zakon ot 02.01.2000 № 29-FZ, available at: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_25584/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_25584/) (April 16, 2024).
8. O bezopasnosti ryby i rybnoy produkcii: texnicheskij reglament Evrazijskogo ekonomicheskogo soyuza TR EAE'S 040/2016, available at: [https://mskstandart.ru/upload/file/040-2016\\_o\\_bezopasnosti\\_rybnoy\\_produccii.pdf](https://mskstandart.ru/upload/file/040-2016_o_bezopasnosti_rybnoy_produccii.pdf) (April 16, 2024).
9. Pishhevaya produkciya v chasti ee markirovki, available at: <https://mskstandart.ru/upload/file/022-2011-markirovka.pdf> (April 16, 2024).
10. *Regional'ny'e novosti federal'noj sluzhby po veterinarnomu i fitosanitarnomu nadzoru Rossel'hoznadzora*, November 14, 2023, available at: <https://fsvps.gov.ru/news/pri-proverke-sklada-konservnogo-zavoda-v-gorode-moskve-vyjavlena-falsifikacija-rybnoj-produkcii/> (April 23, 2024).
11. *Novosti «FBUZ Centr gigieny i epidemiologii v Tul'skoj oblasti»*, December 14, 2022, available at: <https://71.rospotrebnadzor.ru/content/475/116251/> (April 23, 2024).
12. Likarchuk Yu., *Informacionnyj portal Veterinariya i zhizn'*, available at: <https://vetandlife.ru/sobytiya/rossel'hoznadzor-zafiksiroval-vsplesk-falsifikacii-rybnoj-produkcii/> (April 23, 2024).
13. Spencer E.T, Bruno J.F., Fishy Business: Red Snapper Mislabeling Along the Coastline of the Southeastern United States, *Frontiers in Marine Science*, 2019, Vol. 6, Art. 513.
14. Spencer E.T. [et al.] A high proportion of red snapper sold in North Carolina is mislabeled, *PeerJ*, 2020, Vol. 8, Art. e9218.
15. Wong H. K., Hanner R. H. DNA barcoding detects market substitution in North American seafood // *Food Research International*. – 2008. – Vol. 41. – P. 828–837.
16. Filonzi L. [et al.] Molecular barcoding reveals mislabelling of commercial fish products in Italy, *Food Research International*, 2010, Vol. 43, No. 5, P. 1383–1388.
17. GOST 34106-2017, available at: <https://internet-law.ru/gosts/gost/64819/> (April 16, 2024).
18. GOST 31719-2012, available at: <https://internet-law.ru/gosts/gost/52868/> (April 16, 2024).
19. IDT OligoAnalyzer, available at: <https://www.idtdna.com/calc/analyzer> (April 16, 2024).
20. Putinceva A.V., Kirsanova N.A., Leuxina O.O., Krylova E.V., *Nauka molodyx – budushhee Rossii* (Science of the Young is the Future of Russia), Collection of Articles of the 7<sup>th</sup> International Scientific Conference of Advanced Developments of Young Scientists (Kursk, December 12–13, 2022), Kursk, 2022, pp. 328–331. (In Russ.)
21. Kozlova A.D., Krasnikova M.S., Gorbacheva N.S., Bryusova M.B., Dolinskaya K.G., Yacentyuk S.P., *Molekulyarnaya diagnostika 2023* (Molecular Diagnostics 2023), Proceedings of the XI International Scientific and Practical Conference (Moscow, November 14–16, 2023), Moscow: AO Sajens media Prozhekts, 2023, pp. 372–373. (In Russ.)