

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-3-403-409>

Поступила 02.07.2024

Поступила после рецензирования 04.09.2024

Принята в печать 09.09.2024

© Царин С. А., Столярчук Н. М., Кузнецов А. В., 2024

<https://www.fsjour.com/jour>

Обзорная статья

Open access

## АЛЛЕРГИЯ НА ВОДНЫЕ БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ КАК ПРОДУКТЫ ПИТАНИЯ

Царин С. А.<sup>1\*</sup>, Столярчук Н. М.<sup>2</sup>, Кузнецов А. В.<sup>1,3</sup><sup>1</sup>Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия<sup>2</sup>Центр дополнительного образования «Малая академия наук», Севастополь, Россия<sup>3</sup>Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АННОТАЦИЯ

водные биологические ресурсы (ВБР), желудочно-кишечный тракт (ЖКТ), аллерген, парвальбумин, тропомиозин, эпитоп

В обзоре раскрывается проблема аллергии на рыбу и на другие высокоаллергенные пищевые продукты. В первую очередь рассмотрены продукты, полученные из водных организмов. В данной статье обсуждается мировая добыча рыбы различных видов с приведением статистики ФАО за последние годы. Рассматривается роль аквакультуры в производстве рыбы, моллюсков и ракообразных. В частности, анализируются тренды рыболовства в Черном море и рост производства продуктов аквакультуры в России. Обобщенные данные свидетельствуют об увеличении значимости водных биологических ресурсов (ВБР) в сбалансированном рационе человека. Исследование демонстрирует роль парвальбумина в механизме развития аллергии на продукты из ВБР. В статье приводятся примеры других аллергенных белков, которые содержат эпитопы, провоцирующие запуск аллергических реакций в организме человека. Кратко описан механизм возникновения этих реакций. Обращается внимание на перекрестные аллергические реакции. Обсуждаются антропогенные факторы, которые могут усугублять аллергию на рыбные продукты. Таковыми являются пестициды, гербициды, антибиотики, компоненты моющих средств, изменения в химическом составе, условия хранения продуктов. В данной работе упомянуты также псевдоаллергены, способные вызывать аллергические реакции. Симптомы аллергии могут варьироваться от кожных высыпаний и зуда до дыхательных проблем и анафилаксии. Лечение аллергии на рыбу сходно с лечением аллергии на другие пищевые продукты. Оно включает применение антигистаминных препаратов, кортикостероидов и сорбентов. Большую роль в возникновении аллергических реакций играет фактор наследственности. Важно уделять внимание чистоте и качеству продуктов, способам приготовления, а также соблюдать диету. Ввиду потенциально более высокой кумулятивной токсичности пресноводных видов, рекомендуется отдавать предпочтение морской рыбе.

**ФИНАНСИРОВАНИЕ:** Обзор выполнен в рамках тем Госзадания ФИЦ ИнБЮМ «Трансформация структуры и функций экосистем морской пелагиали в условиях антропогенного воздействия и изменений климата» (Регистрационный номер 124030400057-4) и «Комплексное исследование механизмов функционирования морских биотехнологических комплексов с целью получения биологически активных веществ из гидробионтов» (Регистрационный номер 124022400152-1), а также в рамках проекта «Экология Тераклейского полуострова» (Сириус. Лето: начни свой проект. Сезон 2023/2024. Регистрационный номер 100220230513834006).

**БЛАГОДАРНОСТИ:** Авторы выражают признательность Уткиной Е. Г. за консультацию.

Received 02.07.2024

Accepted in revised 04.09.2024

Accepted for publication 09.09.2024

© Tsarin S. A., Stolyarchuk N. M., Kuznetsov A. V., 2024

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Review article

Open access

## ALLERGY TO AQUATIC BIOLOGICAL RESOURCES AS FOOD

Tsarin S. A.<sup>1\*</sup>, Stolyarchuk N. M.<sup>2</sup>, Kuznetsov A. V.<sup>1,3</sup><sup>1</sup>A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia<sup>2</sup>Center for Additional Education "Minor Academy of Sciences", Sevastopol, Russia<sup>3</sup>Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

### KEY WORDS:

aquatic biological resources (ABR), gastrointestinal tract (GI tract), allergen, parvalbumin, tropomyosin, epitope

### ABSTRACT

The review reveals the problem of allergies to fish and other highly allergenic foods. First of all, the products obtained from aquatic organisms are considered. The world production of fish of various species is discussed with the presentation of FAO statistics for recent years in this article. The role of aquaculture in the production of fish, shellfish and crustaceans is considered. In particular, the trends of fishing in the Black Sea and the growth of aquaculture production in Russia are analyzed. Generalized data indicate an increase in the importance of aquatic biological resources (ABR) in a balanced human diet. The study demonstrates the role of parvalbumin in the mechanism of development of allergies to products from ABR. Examples of other allergenic proteins that contain epitopes that trigger allergic reactions in the human body are given. The mechanism of these reactions is briefly described. Attention is drawn to cross-allergic reactions. Anthropogenic factors that can exacerbate allergies to fish products are discussed. These are pesticides, herbicides, antibiotics, detergent components, changes in chemical composition, and food storage conditions. Pseudoallergens with the ability to cause allergic reactions are also mentioned. Allergy symptoms can range from skin rashes and itching to respiratory problems and anaphylaxis. Treatment of fish allergy is similar to treatment for allergies to other foods. It includes the use of antihistamines, corticosteroids and sorbents. Heredity plays a major role in the development of allergic reactions. It is important to pay attention to the purity and quality of products, cooking methods, and also follow a diet. Due to the potentially higher cumulative toxicity of freshwater species, it is recommended that marine fish be preferred.

**FUNDING:** The review was done within the framework of the state assignment of the A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS "Transformation of the structure and functions of marine pelagic ecosystems under the anthropogenic load and climate change" (Registration number 124030400057-4) and "Comprehensive study of the functioning mechanisms of marine biotechnological complexes with the aim of obtain-

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Царин, С. А., Столярчук, Н. М., Кузнецов, А. В. (2024). Аллергия на водные биологические ресурсы как продукты питания. *Пищевые системы*, 7(3), 403–409. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-3-403-409>

FOR CITATION: Tsarin, S. A., Stolyarchuk, N. M., Kuznetsov, A. V. (2024). Allergy to aquatic biological resources as food. *Food Systems*, 7(3), 403–409. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-3-403-409>

ing bioactive substances from hydrobionts” (Registration number 124022400152-1), as well as within the project “Ecology of Herakleian Peninsula” (Sirius. Summer: Start Your Project. Season 2023/2024. Registration number 100220230513834006).

ACKNOWLEDGEMENTS: The authors would like to thank Utkina E. G. for consultations.

## 1. Введение

Аллергены — это чужеродные белки, которые могут вызывать аллергическую реакцию у некоторых людей [1]. Наиболее распространенные аллергены содержатся в пыльце цветов, в травяной пыли и в золе деревьев. Много аллергенов присутствуют в шерсти домашних животных — кошек и собак. К числу наиболее распространенных пищевых аллергенов относятся персики, орехи (миндаль, кешью, арахис), рыба, моллюски, яйца, молочные продукты и другие. Наиболее распространенным источником белков, которые вызывают аллергические реакции у человека, является пшеница. Соя, фасоль, гречиха и семена кунжута также могут вызывать аллергию, хотя и значительно реже, чем перечисленные выше продукты. Кроме того, у некоторых людей может наблюдаться аллергия на определенные лекарства, на латекс, на пестициды, на красители и на химические вещества. Последние используются в основном в косметике и в моющих средствах. Перечень факторов химической и физической природы, вызывающих аллергию, огромен [2,3,4,5,6]. Реакция на аллергенный белок может проявляться множественными симптомами, вплоть до анафилаксии, которая угрожает жизни человека [7,8,9]. Существует ряд белков-аллергенов, которые могут вызвать сильную аллергическую реакцию у некоторых людей. К наиболее известным принадлежат казеин коровьего молока, альбумин из яиц, тропомиозин и парвальбумин из рыбы. Высокоаллергенными являются и белки арахиса, миндаля, кешью и других орехов. К числу сильных аллергенов также относятся глютен, содержащийся в пшенице, в сое, в фасоли и в семенах кунжута [10,11,12].

Водные биологические ресурсы (ВБР) являются важной составляющей питания человечества. Рыболовство (наряду с охотой и земледелием) входило в тройку древнейших занятий людей. Во времена СССР на предприятиях общепита было два рыбных дня в неделю. В современных условиях морепродукты играют все более важную роль в сбалансированном питании. Это происходит на фоне возрастающего дефицита белка животного происхождения в рационе человека. На протяжении последних двух десятилетий мировой вылов ВБР животного происхождения стабилизировался. Его уровень составляет около 90 млн т. Рыба дает более 85% мирового улова водных биологических ресурсов животного происхождения. В обзоре рассматриваются структура и объемы добычи и производства ВБР. Исследованы последствия происходящих изменений в здравоохранении.

## 2. Объекты и методы

На основе современных данных ФАО выполнен анализ статистических данных по добыче ВБР. Рассмотрен объем производимых из них пищевых продуктов. В основном для этого использованы последние сборники Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО). Выделены основные объекты промысла и аквакультуры. Показаны перспективы отраслей в мировом производстве продуктов питания.

Информация, связанная с аллергическими реакциями на ВБР, рассмотрена на основе классических работ по аллергии. Также учтены новейшие сведения. Объектом исследования служили научные публикации, посвященные вопросам, связанным с аллергией человека на рыбу и другие ВБР. Анализировались оригинальные исследовательские статьи, обзорные статьи, а также главы из монографий, опубликованные на английском и на русском языках. Поиск научной литературы проводили в библиографических базах Scopus и Web of Science и в открытых интернет-источниках. Для отбора статей на русском языке провели поиск в Google Scholar и в Научной электрон-

ной библиотеке (eLIBRARY.RU). Поисковый запрос публикаций осуществлялся с использованием ключевых слов и ряда их комбинаций:

- на английском языке: fish allergy, allergy on aquatic biological resources, shellfish allergy, allergen, parvalbumin, tropomyosin, epitope;
- на русском языке: аллергия на рыбу, аллергия на ВБР, аллергия на водных моллюсков, аллерген, парвальбумин, тропомиозин, эпитоп.

Временными рамками для обзора научных публикаций был принят период 2000–2024 гг., основная масса работ относится к 2017–2024 гг.

Критерии включения публикаций для анализа:

- Опубликованные научные статьи;
- Статья соответствует теме исследования;
- Период выхода публикаций — 2000–2024 гг.;
- Публикации на английском и русском языках.
- Критерии исключения публикаций для анализа:
- Тезисы докладов конференций, работы без полных текстов публикаций;
- Статья не соответствует теме настоящего обзора;
- Публикации, вышедшие ранее 2000 г.;
- Статьи, написанные не на английском и русском языках.

При отборе публикаций приоритет имели высоко цитируемые источники. Дополнительными критериями исключения выступали такие факторы, как наличие аннотации и доступность полного текста научной публикации.

## 3. Интенсивность рыболовства

В последние годы представители отряда Сельдеобразных (Clupeiformes) являются одними из главных объектов мирового рыболовного промысла. Общий объем их вылова составляет 17,6–20,5 млн т. Среди них наибольшее значение имеют семейства Сельдевые (Clupeidae) с добычей 10,6–11,0 млн т и анчоусовые (Engraulidae) — 6,9–9,7 млн т. Добыча представителей отряда Скумбриеобразных (Scombriformes) значительна — 12,6–13,4 млн т, причем основную часть составляют виды семейства Скумбриевых (Scombridae). Добыча представителей отряда Трескообразных (Gadiformes) также велика — 8,6–9,4 млн т, в основном за счет тресковых (Gadidae). Весьма существенен и вылов ставридовых (Carangidae) — 4,5–4,9 млн т [13]. Данные по уловам других таксономических групп рыб за последние годы представлены в Таблице 1 (в млн т).

Если брать отдельные виды рыб, то наибольшие уловы приходятся на перуанского анчоуса (*Engraulis ringens*). Его добыча в последние годы составляет 3,9–7,0 млн т. В отдельные периоды вылов перуанского анчоуса достигал 11–12 млн т. Однако большая часть этого объекта промысла идет на рыбную муку, а не непосредственно в пищу. Следом за перуанским анчоусом по объему вылова идет минтай (*Gadus chalcogrammus*) — 3,4–3,5 млн т. Третье место занимает полосатый тунец (*Katsuwonus pelamis*) с уловом 2,8–3,3 млн т. На четвертом месте сельдь атлантическая (*Clupea harengus*) — 1,5–1,8 млн т. Замыкает пятерку желтоперый тунец (*Thunnus albacares*) — его улов составляет 1,5–1,6 млн т. Мировые уловы остальных видов промысловых рыб за 2017–2022 гг [14] представлены в Таблице 2. Существенно в мировом вылове значение двусторчатых (5,8–6,8 млн т) и головоногих (3,6–3,9 млн т) моллюсков. Также значительна роль ракообразных (5,8–6,8 млн т). В настоящее время Россия занимает четвертое место в мире по вылову рыбы. В 2023 г. рыболовство в РФ достигло максимальных значений после распада СССР (5,3 млн т). Но оно существенно не дотягивает до уловов времен РСФСР (7–8 млн т).

Таблица 1. Мировые уловы некоторых таксонов рыб (млн т)

Table 1. World catches of some fish taxa (million tons)

Таксон	Годы					В среднем
	2017	2018	2019	2020	2021	
Сем. Карповые (Cyprinidae)	1,7	1,8	1,9	1,9	2,0	1,9
Отр. Лососеобразные (Salmoniformes)	1,0	1,1	1,1	0,7	1,1	1,0
Отр. Камбалообразные (Pleuronectiformes)	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	1,0
Сем. Цихловые (Cichlidae)	0,8	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9
Сем. Кефалевые (Mugilidae)	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6

Таблица 2. Мировые уловы некоторых массовых промысловых видов рыб (млн т)

Table 2. World catches of some mass commercial fish species (million tons)

Вид	Годы						В среднем
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
Скумбрия тихоокеанская ( <i>Scomber japonicus</i> )	1,5	1,6	1,4	1,4	1,7	1,4	1,5
Сардина средиземноморская ( <i>Sardina pilchardus</i> )	1,4	1,6	1,5	1,3	1,4	1,6	1,5
Северная путассу ( <i>Micromesistius poutassou</i> )	1,6	1,7	1,5	1,5	1,2	1,0	1,4
Ставрида сигарная ( <i>Decapterus punctatus</i> )	1,2	1,3	1,3	1,3	1,2	1,3	1,3
Треска атлантическая ( <i>Gadus morhua</i> )	1,3	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2
Рыба-сабля волосохвост ( <i>Trichiurus lepturus</i> )	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Скумбрия атлантическая ( <i>Scomber scombrus</i> )	1,2	1,0	0,9	1,1	1,1	1,1	1,1

В отдельные годы общий вылов рыбы в Черном море всеми странами достигал 0,9 млн т. Максимальные уловы были в 1980-х гг. В пиковые годы советского рыболовства в Черном море добыча была почти 0,3 млн т [15]. В последние годы РФ вылавливает около 0,1 млн т ВБР в Черном море. В первой половине XX века основу уловов составляли ценные промысловые виды, такие как скумбрия (*Scomber scombrus*), пелагида (*Sarda sarda*), кефаль (сем. Mugilidae) и ставрида (*Trachurus ponticus*). Важную роль в уловах играли также камбалкалкан (*Scophthalmus maoticus*), сельдь (*Alosa spp.*) и представители семейства осетровых (Acipenseridae). Позднее основу промысла составили хамса (*Engraulis encrasicolus*) и шпрот (*Sprattus sprattus*). Их доля в общем улове достигала 81 и 12% соответственно [16,17]. В меньшей степени вылавливают мерланга (*Merlangius merlangus*) и черноморскую ставриду (*T. ponticus*). В некоторых районах существенное значение имеет султанка (*Mullus ponticus*) [18].

#### 4. Возрастающая роль аквакультуры

Аквакультура, особенно рыбоводство, вносит значительный вклад в производство продукции животного происхождения. В 2023 г., по данным ФАО [19], мировое производство рыболовства и рыбоводства практически сравнялись. В ряде стран, таких как Китай, Индия, Бангладеш, Египет, Вьетнам, Греция и другие, продукция аквакультуры уже значительно превышает объемы улова. Основные объекты аквакультуры — рыбы семейства Карповых (Cyprinidae), общий объем производства которых составляет 28,1–31,1 млн т. На них приходится более трети всей мировой аквакультуры ВБР (без учета водорослей). При этом основными объектами разведения в мире являются белый амур (*Ctenopharyngodon idella*) и белый толстолобик (*Hypophthalmichthys molitrix*), а также карп (*Cyprinus carpio*), занимающий третье место по объему производства. В России основным объектом разведения является карп. Велика роль в аквакультуре рыб сем. Цихловых (Cichlidae) — 5,9–6,4 млн т (разные виды тилапий). Интенсивно разводят и представителей отряда Лососеобразных рыб (Salmoniformes) — 3,5–4,2 млн т. Значительную долю в аквакультуре составляют двустворчатые моллюски — 16,8–17,4 млн т. Это преимущественно устрицы (сем. Ostreidae), сердцевидки (сем. Cardiidae), морские гребешки (сем. Pectinidae), мидии (рода *Mytilus*). Велико значение в аквакультуре и ракообразных — 8,6–11,9 млн т.

В настоящее время всеми странами производится 62,2–63,7 млн т рыбной продукции ежегодно. На рыбу приходится 54,7–55,6 млн т, а 7,3–8,3 — на моллюсков, ракообразных и т. д. По производству такой продукции Россия (5,1–5,4 млн т) занимает второе место в мире после Китая. Из этого объема 94% приходится на рыбу (4,8–4,9 млн т) [20].

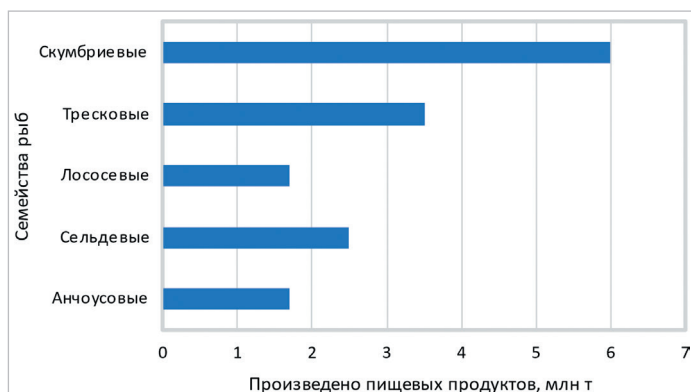


Рисунок 1. Основные группы рыб, используемые для производства продуктов питания

Figure 1. Main fish groups used for food production

Наибольший вклад в производство пищевых продуктов вносят семейства рыб, представленные на Рисунке 1. Основная доля производства продуктов питания из скумбриевых принадлежит тунцам (3,6–4,0, в среднем — 3,9 млн т). Это 15 видов рыб из 5 родов. В ближайшие годы доля ВБР в питании человечества будет увеличиваться преимущественно за счет развития аквакультуры.

#### 5. Аллергические реакции на ВБР

У некоторых людей имеется аллергическая реакция на морских и пресноводных рыб и другие ВБР. В основном это происходит при использовании их в качестве пищевых продуктов [21,22]. Аллергия, проявившаяся в детстве, нередко исчезает с возрастом. Это во многом зависит от состояния иммунной системы. При этом аллергия на рыбу проявляется у группы людей в течение всей жизни. На некоторые другие пищевые продукты аллергия имеется только в детском возрасте (яйца, молочные продукты). Аллергия на рыбу и моллюсков у взрослых и подростков проявляется чаще, чем у маленьких детей. Важную роль в развитии аллергии играет генетика, аллергия на рыбу часто передается по наследству [23,24]. Проявления аллергии обычно возникают через 2–3 часа после употребления продукта. В тяжелых случаях симптоматика развивается моментально. Слабые аллергические реакции возможны в течение 24 часов после приема пищи [25,26].

Напомним, что в переводе с греческого аллергия означает «иное воздействие». Иммунная система защищает организм от вирусов, бактерий, токсинов. Однако в случае с аллергенами защита может срабатывать и на безвредные вещества. Они воспринимаются как чужеродные. Организм реагирует на чужеродный белок — антиген (в нашем случае пищевой «рыбный» белок) — и нейтрализует его. При этом образуются антитела (как при контакте с инфекционным возбудителем). Из мышечной ткани рыб многих видов был выделен кальций-связывающий белок — парвальбумин. Он и является основным возбудителем аллергии (но не единственным) [27]. После попадания антигена в организм он встречается с антителом — иммуноглобулином класса E (IgE). Затем такие IgE-антитела прикрепляются к тучным клеткам соединительной ткани, которые выделяют гистамин. В результате чего проявляются разнообразные аллергические реакции. Установлено, что IgE-антитела обладают разнообразием типов и видов, каждый из которых специфичен для определенного аллергена. Этим объясняется разнообразие возбудителей аллергии (аллергенов) [28,29,30,31,32].

В общем, аллергическая реакция является ответным иммунологическим действием организма на чужеродную субстанцию. Эта субстанция известна как аллерген, а сама реакция включает несколько стадий:

- 1) Сенсибилизация: во время первичной экспозиции аллергена иммунная система человека продуцирует IgE-антитела, специфичные для этого аллергена. Эти антитела связываются с рецепторами FcεRI на поверхности тучных клеток — мастоцитов.
- 2) Активация тучных клеток: при повторной экспозиции аллергена он связывается со специфическими IgE-антителами на поверхности мастоцитов. Это вызывает дегрануляцию этих клеток и высвобождение медиаторов воспаления, таких как гистамин, лейкотриены и простагландины.
- 3) Воспаление: медиаторы воспаления вызывают разнообразные проявления аллергической реакции. Они включают кожное высыпание, зуд, отеки, боль; насморк, затрудненное дыхание и сдавленный голос; кашель. Может возникать дискомфорт, недомогание, тошнота, рвота, диарея и боль в животе.
- 4) Анафилаксия: в редких случаях повторная экспозиция аллергена может привести к серьезной аллергической реакции — анафилаксии. Это опасное для жизни состояние, которое проявляется в виде сильного спазма дыхательных путей. При анафилаксии может



появиться низкое кровяное давление, учащение пульса и потеря сознания. Анафилаксия требует немедленной медицинской помощи. Аллергическая реакция включает множество различных сигнальных путей и медиаторов, которые приводят к воспалению. Молекулярный механизм этого процесса чрезвычайно сложен и до сих пор не полностью изучен [33,34,35].

Аллергенные белки содержат специфические участки, известные как эпитопы. Они распознаются иммунной системой и запускают аллергическую реакцию. Эпитопы могут быть линейными или конформационными. Линейные (пептидные) эпитопы — это последовательности аминокислотных остатков в белке-аллергене, которые распознаются IgE-антителами. Они могут быть относительно короткими (5–20 аминокислот) и могут присутствовать в различных частях белка-аллергена. Конформационные эпитопы образуются трехмерной структурой белка-аллергена, которая формируется после пространственной укладки отдельных аминокислотных последовательностей. Они могут быть распознаны IgE-антителами только в своей трехмерной конформации. Эти эпитопы обычно более специфичны, чем линейные. Эпитопы на поверхности белков-аллергенов довольно разнообразны, что зависит от типа аллергена, от его химической природы и от пространственной структуры. Кроме того, эти эпитопы могут меняться в зависимости от условий хранения и обработки аллергена. Это может повлиять на способность иммунной системы распознавать и реагировать на него [36,37,38].

Реакцию иммунной системы может индуцировать даже минимальное количество антигена. Аллергия на рыбные блюда и ВБР связана не только с наличием в них специфического белка. Важную роль играет и воздействие на человека факторов окружающей среды, таких как пестициды, гербициды, удобрения, моющие средства, промышленные отходы и т. д. В продуктах аквакультуры могут содержаться антибиотики и стимуляторы роста. Они вызывают бурную защитную реакцию человеческого организма с соответствующими процессами. При длительном хранении ВБР в них развиваются микроорганизмы, образующие скомбротоксин [39]. Последний устойчив к способам приготовления пищи. Он вызывает высвобождение гистамина и провоцирует развитие аллергии. Могут вызывать аллергию и паразиты, живущие в пищеварительном тракте рыбы, в основном нематоды рода *Anisakis* [40,41,42].

Не только парвальбумины [43] вызывают аллергию на рыбу. Аллергенами у трески, лосося и тунца могут быть белки энлазы и альдолазы, которые разрушаются при термообработке. Также аллергеном может являться белок икры рыб — вителлогенин, отсутствующий в теле рыбы [44]. Но аллергия на икру — явление редкое. У ракообразных и рыбы тиляпии (сем. Cichlidae) устойчивый к термообработке белок тропомиозин выступает как аллерген [45]. Аллергия на рыбу может быть видоспецифичной (на один или несколько видов рыб) и перекрестной [43,46]. Она связана с парвальбуминами, энлазой и альдолазой (на большинство видов рыб).

### 5.1. Распространенность аллергических реакций

Рыба и ВБР входят в перечень восьми наиболее аллергенных пищевых продуктов. Реакция на эти продукты выражается в крайне неприятных симптомах. Аллергия на рыбу встречается у 4 человек из 1000. При этом у 40% из них отмечена реакция на белок рыбы. Пищевыми аллергиями страдает больше половины населения планеты. Это вызвано повышенной чувствительностью иммунной системы. Наибольшую опасность для потенциальных аллергиков представляют продукты с высоким содержанием белка, который считается сильнейшим аллергеном. Аллергия на рыбу — частое явление, так как рыба богата протеинами группы альбуминов. Эти же белки содержатся в яйцах и мясе животных. Поэтому аллергия на рыбу нередко сочетается с перекрестной аллергией на другие продукты животного происхождения. Альбумины сворачиваются под воздействием высоких температур и растворяются в жидкостях. При этом они не меняют своих свойств по отношению к организму человека. Рыба не перестает быть опасным аллергеном даже после приготовления (термической обработки, копчения или соления) [47].

Большинство людей с аллергией на рыбу имеют аллергические реакции на несколько видов рыб. Это объясняется высокой перекрестной реактивностью парвальбумина [46,47,48,49,50]. Однако у каждого человека встречается индивидуальная непереносимость определенных антигенов. Непереносимость некоторых видов рыб не сопровождается аллергией на всю рыбу или другие ВБР. При этом аллергия может проявляться не только при употреблении рыбы или других ВБР в пищу. Она может возникать и при приготовлении еды. Это может быть связано с запахом, тактильным восприятием и т. д. [51]. Согласно статистическим отчетам, в мире наблюдается

ежегодный рост аллергических заболеваний на 18%. В России аллергия встречается у 30% населения в среднем. Количество обращений в скорую помощь из-за пищевой аллергии превышает 30000 случаев в год.

Могут встречаться и ложно аллергические реакции (псевдоаллергия, параллергия). В клинических проявлениях этот процесс схож с обычной аллергией. Но причины возникновения такой аллергии иные. Обычно это проявляется при воздействии аллергенов с сопутствующими веществами, как правило, не вызывающими аллергию. В таком случае организм впоследствии может реагировать не на сам аллерген. Реакция возникает на ранее сопутствующие ему «безвредные» вещества.

Тунцы (*Thunnus* spp., *Auxis* spp., *Euthynnus* spp., *Allothunnus fallai*, *Katsuwonus pelamis*) — наиболее аллергенные морские рыбы. При этом в их мясе не обнаружен мышечный протеин — парвальбумин. Однако тунцы относятся к крупным хищникам. А такие рыбы накапливают в тканях большое количество ртути, приводящей к развитию аллергической реакции [52,53]. По этой причине наиболее аллергенной рыбой является навага (*Eleginus gracilis*, *E. Nawaga*). Сильными аллергенами являются крупный хек (*Merluccius* spp.), горбуша (*Oncorhynchus gorbuscha*), сайда (*Pollachius virens*). Накапливают яды нельма (*Stenodus leucichthys nelma*), белуга (*Huso huso*), угорь (*A. anguilla*), сомы (сем. Siluridae) [54]. Менее аллергенные рыбы — это скумбрия (*Scomber* spp.), сельди (*Clupea* spp., *Alosa* spp.), сардины (*Sardina* spp.). Незначительна и аллергенность сардинеллы (*Sardinella* spp.) и сардинопса (*Sardinops sagax*) [48,52,55]. Диагностика аллергии на парвальбумин отдельных видов рыб стала доступна с внедрением молекулярных методов исследования [44,56,57,58].

Ракообразные и морские моллюски также являются весьма частыми возбудителями аллергических реакций [59,60,61]. При этом возникают и перекрестные аллергические реакции между ракообразными и моллюсками. К наиболее аллергенным пищевым продуктам из ВБР относятся: масло рыбное, мидии, рыбный ароматизатор. Таковыми являются икра из рыбы, сурими, морепродукты, креветки, анчоусы, сашими, тэмпюра, суши [62]. Добавление консервантов ощутимо снижает полезность красной и черной икры. По этой же причине к группе риска относятся и крабовые палочки. При производстве последних применяется большое количество искусственных пищевых добавок [63,64,65].

Речная рыба менее агрессивна по отношению к иммунной системе, чем морская в качестве аллергена. Пресные водоемы подверглись более раннему и значительному загрязнению, чем морские. Поэтому речная рыба более токсична (например, сомы семейства *Siluridae*, угорь обыкновенный (*Anguilla anguilla*)). Ткани рыб впитывают пестициды, тяжелые металлы, токсины, повышающие риск развития аллергической реакции [22,45]. Поэтому следует отдавать предпочтение морской рыбе.

### 5.2. Симптоматика и лечение аллергии

Люди с аллергией на рыбу могут страдать от расстройства желудочно-кишечного тракта (ЖКТ). Могут возникать пощипывание слизистых оболочек рта и неба, рвота, сыпь, зуд, пятна и волдыри на теле. Бывает отек губ и век, сухой кашель, насморк, слезотечение, аллергический конъюнктивит. У некоторых людей может понизиться давление. Тяжелые симптомы при аллергии на рыбу встречаются не часто. К таковым относятся одышка (затрудненное дыхание, апноэ), случаи астмы и анафилактический шок [21,26,66]. Астма может возникнуть в связи со спецификой производства, связанной с обработкой различных видов рыб. Астма, по-видимому, является фактором риска фатальной анафилаксии на ВБР, а пищевая аллергия является фактором риска опасных для жизни заболеваний [21]. Рыбья кровь, особенно для сотрудников рыбоперерабатывающих предприятий, является значимым аллергеном, вдыхание которого может привести к развитию профессиональной астмы [26]. Часто астма как аллергическая реакция на ВБР проявляется у детей [67]. Астма обычно встречалась при наличии IgE FA [68]. Тяжелейшим проявлением аллергии на рыбные продукты является анафилактический шок, приводящий к смерти в 20% случаев. Нередко появлению опасной для жизни анафилаксии способствует рыбный желатин [69]. Также был зарегистрирован случай анафилаксии на рыбный коллаген у ребенка [70].

Для облегчения симптоматики аллергии широко используются антигистаминные препараты. Препараты разработаны для уменьшения количества гистамина или для его нейтрализации во время его активного действия. В настоящее время существует четыре поколения антигистаминных средств. Нередко необходимы мощные противовоспалительные препараты — кортикостероиды, а назальные (противоаллергические) спреи оказывают эффективное

местное воздействие. Часто применяют сорбенты, способствующие максимально быстрому выводу аллергенов и токсинов из организма. Самые известные в данной группе медикаментов — это активированный уголь, энтеросгель, полисорб, смекта. Неплохие результаты в ослаблении аллергических реакций показали и препараты кальция. Эти препараты способствуют восполнению кальция в организме, укреплению сосудистых стенок с уменьшением их проницаемости [71]. Это затрудняет проникновение аллергена в кровь. Также с целью лечения и профилактики аллергии применяют витаминные комплексы [72]. При тяжелых острых проявлениях аллергической реакции необходимо сделать инъекцию адреналина, преднизолона. К таковым относятся анафилактический шок, отек Квинке, генерализованная крапивница.

Среди методов лечения аллергий выделяют две основные группы:

- 1) Аллерген-специфическая иммунотерапия (АСИТ), где пациент с аллергией намеренно подвергается воздействию аллергена в малых дозах. Пациент постепенно привыкает к аллергену, и чувствительность его иммунного ответа уменьшается. АСИТ может включать регулярную экспозицию к аллергену путем вдыхания, нюхания или приема пищи с аллергеном. Этот метод может помочь уменьшить проявления негативных симптомов аллергии и уменьшить зависимость от лекарств [73].

- 2) Медикаментозная терапия, в которой в основном используются лекарства для снижения симптомов аллергии. Лекарства могут включать антигистаминные препараты, стероиды, деконгестанты и бронходилататоры [74].

В последние годы для лечения аллергий стали широко применять иммунотерапию и ферментную терапию. Эти методы направлены на улучшение специфичности лечения аллергий, на увеличение эффективности иммунного ответа, на минимизацию побочных эффектов. Иммунотерапия основана на введении пациенту специфических белков-аллергенов. Белки-аллергены обучают иммунную систему распознавать себя и не реагировать на них [75]. Иммунотерапия

может помочь снизить чувствительность к аллергену и уменьшить симптоматику [76]. Методы генной инженерии и протеин-дизайна призваны помочь в создании имитаторов белков-аллергенов [77]. Эти имитаторы и будут применяться в иммунотерапии [78,79]. Ферментная терапия использует ферменты для расщепления белков-аллергенов на меньшие части, которые не вызывают аллергические реакции [80]. Перспективным выглядит использование регуляторных РНК. Молекулярные методы и биоинформатика помогают идентифицировать маркеры аллергии, специфические эпитопы-мишени и ферменты, которые расщепляют белки-аллергены [81,82].

#### 4. Заключение

В целом, такие методы лечения аллергий, как АСИТ и медикаментозная терапия, оправдывают себя. Стали применяться молекулярные методы — иммунотерапия и ферментная терапия. Они направлены на увеличение эффективности иммунного ответа, на улучшение специфичности лечения аллергий и на минимизацию побочных эффектов. Современные методы также включают использование молекулярных маркеров. Маркеры служат для определения чувствительности к аллергенам и для создания новых молекул-ингибиторов аллергических реакций [83]. Молекулярные методы помогают в разработке методов диагностики аллергий и мониторинга иммунного ответа на соответствующую терапию.

Проведенный анализ литературы позволяет лучше понять природу источников аллергических реакций на рыбные продукты. Это дает возможность выявить потенциальные причины возникновения таковых реакций. При аллергии на продукты питания, в частности на рыбу и ВБР, необходимо соблюдать строгую диету. Самое важное — исключить аллерген. Даже качественную рыбу рекомендуют употреблять не чаще 1 раза в неделю. Ежедневное употребление рыбы и ВБР, вне зависимости от способа приготовления, ведет к разбалансировке работы ЖКТ. Это может сопровождаться аллергическими реакциями.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

1. De Martinis, M., Sirufo, M. M., Suppa, M., Ginaldi, L. (2020). New perspectives in food allergy. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(4), Article 1474. <https://doi.org/10.3390/ijms21041474>
2. Sicherer, S. H., Sampson, H. A. (2018) Food allergy: A review and update on epidemiology, pathogenesis, diagnosis, prevention, and management. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 141(1), 41–58. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2017.11.003>
3. Savage, J., Johns, C. B. (2015). Food allergy: Epidemiology and natural history. *Immunology and allergy clinics of North America*, 35(1), 45–59. <https://doi.org/10.1016/j.jiac.2014.09.004>
4. Valenta R., Hochwallner H., Linhart B., Pahr S. (2015). Food allergies: The basics. *Gastroenterology*, 148(6), 1120–1131.e4. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2015.02.006>
5. Cosme-Blanco, W., Arroyo-Flores, E., Ale, H. (2020). Food Allergies. *Pediatrics in Review*, 41(8), 403–415. <https://doi.org/10.1542/pir.2019-0037>
6. Loh, W., Tang, M. L. K. (2018). The epidemiology of food allergy in the global context. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(9), Article 2043. <https://doi.org/10.3390/ijerph15092043>
7. Sharma, H. P., Bansil, S., Uygungil, B. (2015). Signs and symptoms of food allergy and food-induced anaphylaxis. *Pediatric Clinics of North America*, 62(6), 1377–1392. <https://doi.org/10.1016/j.pcl.2015.07.008>
8. Deschildre, A., Lejeune, S. (2018). How to cope with food allergy symptoms? *Current Opinion in Allergy and Clinical Immunology*, 18(3), 234–242. <https://doi.org/10.1097/ACI.0000000000000447>
9. Valverde-Monge, M., Pastor-Vargas, C., Rodríguez del Rio, P., Escudero, C., Sánchez-García, S., Mendez Brea, P. et al. (2018). Anaphylaxis by exclusive allergy to swordfish and identification of a new fish allergen. *Pediatric Allergy and Immunology*, 29(5), 563–565. <https://doi.org/10.1111/pai.12916>
10. González-Fernández, J., Alguacil-Guillén, M., Cuéllar, C., Daschner, A. (2018). Possible allergenic role of tropomyosin in patients with adverse reactions after fish intake. *Immunological Investigations*, 47(4), 416–429. <https://doi.org/10.1080/08820139.2018.1451882>
11. Climer, L. K., Cox, A. M., Reynolds, T. J., Simmons, D. D. (2019). Oncomodulin: The enigmatic parvalbumin protein. *Frontiers in Molecular Neuroscience*, 12, Article 235. <https://doi.org/10.3389/fnmol.2019.00235>
12. Sampath, V., Abrams, E. M., Adlou, B., Akdis, C., Akdis, M., Brough, H. A. et al. (2021). Food allergy across the globe. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 148(6), 1347–1364. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2021.10.018>
13. ВНИРО (2023). Мировые уловы рыбы и нерыбных объектов промысла 2017–2021 гг. (по материалам ФАО). М.: ВНИРО, 2023. Электронный ресурс: <http://www.vniro.ru/ru/nauchnaya-deyatelnost/statisticheskie-svedeniya-mirovye-ulovy-ryby-i-nerybnykh-obektov-promysla-za-2017-2021-gg>. Дата доступа 14.05.2024. [VNIRO (2023). World catches of fish and non-fish objects of catching 2017–2021 (according to FAO materials). Moscow: VNIRO, 2023. Retrieved from <http://www.vniro.ru/ru/nauchnaya-deyatelnost/statisticheskie-svedeniya-mirovye-ulovy-ryby-i-nerybnykh-obektov-promysla-za-2017-2021-gg> Accessed May 14, 2024 (In Russian)]
14. FAO (2024) The State of World Fisheries and Aquaculture 2024. Blue Transformation in action. Rome, 2024. <https://doi.org/10.4060/cd0683en>
15. Состояние биологических ресурсов Черного и Азовского морей (справочное пособие). Керчь: Издательство ЮгНИРО, 1995. [State of Biological Resources of the Black and Azov Seas (Reference Manual). Kerch: YugNIRO Press, 1995. (In Russian)]
16. Балькин, П. А. (2014). Водные биоресурсы Азово-Черноморского бассейна, их использование и изучение. *Рыбоводство и рыбное хозяйство*, 8, 16–25. [Balykin, P. A. (2014). Aquatic biological resources of the Azov and Black Sea basin, their use and study. *Fish Breeding and Fisheries*, 8, 16–25. (In Russian)]
17. Балькин, П. А., Куцын, Д. Н., Старцев, А. В. (2021). Рыбоводство в условиях климатических изменений: динамика состава и структуры уловов в российской части Чёрного моря в XXI веке. *Морской биологический журнал*, 6(3), 3–14. [Balykin, P. A., Kutsyn, D. N., Startsev, A. V. (2021). Fishing under climate change: Dynamics of composition and structure of catches in the Russian Black Sea in the XXI century. *Marine Biological Journal*, 6(3), 3–14. (In Russian)] <https://doi.org/10.36038/0234-2774-2021-22-3-51-60>
18. Еремеев, В. Н., Гаевская, А. В., Шульман, Г. Е., Загородняя, Ю. А. (2011). Промысловые биоресурсы Черного и Азовского морей. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. [Eremeev, V. N., Gaevskaya, A. V., Shulman, G. E., Zagorodnyaya, Ju. A. (2011). Biological resources of the Black Sea and Sea of Azov. Sevastopol: ECOSY- Hidrofizika, 2011. (In Russian)]
19. FAO (2023). Agricultural production statistics 2000–2022. FAOSTAT Analytical Briefs, No. 79. Rome, 2023. <https://doi.org/10.4060/cc9205en>
20. ВНИРО (2023). Мировое производство рыбной продукции в 2017–2021 гг. (по материалам ФАО). М.: ВНИРО, 2023. Электронный ресурс: <http://www.vniro.ru/ru/nauchnaya-deyatelnost/statisticheskie-svedeniya-mirovye-proizvodstvo-rybnoj-produktsii-v-2017-2021-gg>. Дата доступа 14.05.2024. [VNIRO (2023). World fish production in 2017–2021. (2023). Moscow: VNIRO, 2023. Retrieved from <http://www.vniro.ru/ru/nauchnaya-deyatelnost/statisticheskie-svedeniya-mirovye-proizvodstvo-rybnoj-produktsii-v-2017-2021-gg> (In Russian)] Accessed May 14, 2024 (In Russian)]
21. Sharp, M. F., Lopata, A. L. (2014). Fish allergy: In review. *Clinical Reviews in Allergy and Immunology*, 46(3), 258–271. <https://doi.org/10.1007/s12016-013-8363-1>
22. Liu, R., Krishnan, H. B., Xue, W., Lui, C. (2010). Characterization of allergens isolated from freshwater fish Blunt Snout Bream (*Megalobrama amblycephala*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(1), 458–461. <https://doi.org/10.1021/jf103942p>
23. Sasaki, M., Koplin, J. J., Dharmage, S. C., Field, M. J., Sawyer, S. M., McWilliam, V. et al. (2018). Prevalence of clinic-defined food allergy in early adolescence: The SchoolNuts study. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 141, 391–398.e4. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2017.05.041>
24. Kanchan, K., Clay, S., Irizar, H., Bunyavanich, S., Mathias, R. A. (2021). Current insights into the genetics of food allergy. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 147(1), 15–28. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2020.10.039>
25. Kourani, E., Corazza, F., Michel, O., Doyen, V. (2019). What do we know about fish allergy at the end of the decade? *Journal of Investigational Allergology and Clinical Immunology*, 29(6), 414–21. <https://doi.org/10.18176/jiaci.0381>



26. Dijkema, D., Emons, J. A. M., Van de Ven, A. A. J. M., Oude Elberink, J. N. G. (2022). Fish allergy: Fishing for novel diagnostic and therapeutic options. *Clinical Reviews in Allergy and Immunology*, 62(1), 64–71. <https://doi.org/10.1007/s12016-020-08806-5>
27. Carvalho, S., Marcelino, J., Cabral Duarte, M. F., Costa, C., Barbosa, M. A., Pereira Dos Santos M. C. (2020). Role of recombinant parvalbumin Gad c 1 in the diagnosis and prognosis of fish allergy. *Journal of Investigational Allergology and Clinical Immunology*, 30(5), 340–345. <https://doi.org/10.18176/jiaci.0437>
28. Kuehn, A., Scheuermann, T., Hilger, C., Hentges, F. (2010). Important variations in parvalbumin content in common fish species: A factor possibly contributing to variable allergenicity. *International Archives of Allergy and Immunology*, 153(4), 359–366. <https://doi.org/10.1159/000316346>
29. Schulkes, K. J., Klemans, R. J., Knigge, L., de Bruin-Weller, M., Bruijnzeel-Koomen, C. A., Marknell de Witt, A. et al. (2014). Specific IgE to fish extracts does not predict allergy to specific species within an adult fish allergic population. *Clinical and Translational Allergy*, 4(1), Article 27. <https://doi.org/10.1186/2045-7022-4-27>
30. Kato Y., Morikawa T., Kato E., Yoshida K., Imoto Y., Sakashita M. et al. (2021). Involvement of activation of mast cells via IgE signaling and epithelial cell-derived cytokines in the pathogenesis of pollen food allergy syndrome in a murine model. *Journal of Immunology*, 206(12), 2791–2802. <https://doi.org/10.4049/jimmunol.2000518>
31. Liang, J., Taylor, S. L., Baumert, J., Lopata, A. L., Lee, N. A. (2021). Effects of thermal treatment on the immunoreactivity and quantification of parvalbumin from Southern hemisphere fish species with two anti-parvalbumin antibodies. *Food Control*, 121, Article 107675. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107675>
32. Xepapadaki, P., Christopoulou, G., Stavroulakis, G., Freidl, R., Linhart, B., Zuidmeier, L. et al. (2021). Natural history of IgE-mediated fish allergy in children. *Journal of Allergy Clinical Immunology: In Practice*, 9, 3147–3156. <https://doi.org/10.1016/j.jaip.2021.04.007>
33. Huby, R. D., Dearman, R. J., Kimber, I. (2000). Why are some proteins allergens? *Toxicological Sciences*, 55(2), 235–246. <https://doi.org/10.1093/toxsci/55.2.235>
34. Campana, R., Dzoror, S., Mittermann, I., Fedenko, E., Elisyutina, O., Khaitov, M. et al. (2017). Molecular aspects of allergens in atopic dermatitis. *Current Opinion in Allergy and Clinical Immunology*, 17(4), 269–277. <https://doi.org/10.1097/ACI.0000000000000378>
35. Suarez-Farinas M., Suprun M., Bahnson H. T., Raghunathan R., Getts R., duToit G. et al. (2021). Evolution of epitope-specific IgE and IgG4 antibodies in children enrolled in the LEAP trial. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 148(3), 835–842. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2021.01.030>
36. Dall'antonia, F., Pavkov-Keller, T., Zangger, K., Keller, W. (2014). Structure of allergens and structure based epitope predictions. *Methods*, 66(1), 3–21. <https://doi.org/10.1016/j.jmeth.2013.07.024>
37. Mabelane T., Basera W., Botha M., Thomas H. F., Ramjith J., Levin M. E. (2018). Predictive values of alpha-gal IgE levels and alpha-gal IgE: Total IgE ratio and oral food challenge-proven meat allergy in a population with a high prevalence of reported red meat allergy. *Pediatric Allergy and Immunology*, 29(8), 841–849. <https://doi.org/10.1111/pai.12969>
38. Ferraro, V., Zanconato, S., Carraro, S. (2019). Timing of food introduction and the risk of food allergy. *Nutrients*, 11(5), Article 1131. <https://doi.org/10.3390/nu11051131>
39. Hungerford, J. M. (2021). Histamine and scobrototoxins. *Toxicon*, 201, 115–126. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2021.08.013>
40. Aibinu, I. E., Smooker, P. M., Lopata, A. L. (2019). *Anisakis* Nematodes in Fish and Shellfish- from infection to allergies. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*, 9, 384–393. <https://doi.org/10.1016/j.ijppaw.2019.04.007>
41. Morozińska-Gogol, J. (2019). *Anisakis* spp. as etiological agent of zoonotic disease and allergy in European region – an overview. *Annals of Parasitology*, 65(4), 303–314. <https://doi.org/10.17420/ap6504.214>
42. Rama T. A., Silva D. (2022). *Anisakis* allergy: Raising awareness. *Acta Medica Portuguesa*, 5(7–8), 578–583. <https://doi.org/10.20344/amp.15908>
43. Kuehn, A., Swoboda, I., Arumugam, K., Hilger, C., Hentges, F. (2014). Fish allergens at a glance: Variable allergenicity or parvalbumin, the major fish allergens. *Frontiers in Immunology*, 22(5), Article 179. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2014.00179>
44. Perez-Gordo, M., Sanchez-Garcia, S., Cases, B., Pastor, C., Vivanco, F., Cuesta-Herranz, J. (2008). Identification of vitellogenin as an allergen in Beluga caviar allergy. *Allergy*, 63, 479–480. <https://doi.org/10.1111/j.1398-9995.2007.01614.x>
45. Liu, R., Holck, A. L., Yang, E., Liu, C., Cue, W. (2013). Tropomyosin from tilapia (*Oreochromis mossambicus*) as an allergen. *Clinical and Experimental Allergy*, 43(3), 365–377. <https://doi.org/10.1111/cea.12056>
46. Perez-Gordo, M., Cuesta-Herranz, J., Maroto, A. S., Cases, B., Ibáñez, M. D., Vivanco, F. et al. (2011). Identification of sole parvalbumin as a major allergen: Study of cross reactivity between parvalbumins in a Spanish fish-allergic population. *Clinical and Experimental Allergy*, 41, 750–758. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2222.2011.03721.x>
47. Helbling, A., Heydet, R., McCants, M. L., Musmand, J. J., El-Dahr, J., Lehrer, S. G. (1999). Fish allergy: Is cross-reactivity among fish species relevant? Double-blind placebo-controlled food challenge studies or fish-allergic patients. *Annals of Allergy, Asthma and Immunology*, 83, 517–523. [https://doi.org/10.1016/S1081-1206\(10\)62862-1](https://doi.org/10.1016/S1081-1206(10)62862-1)
48. Sten, E., Hansen, T. K., Stahl Skov, P., Andersen, S. B., Torp, A., Bindslev-Jensen, U. et al. (2004). Cross-reactivity to eel, eelpout and ocean pout in cod-fish-allergic patients. *Allergy*, 59, 1173–1180. <https://doi.org/10.1111/j.1398-9995.2004.00497.x>
49. Luo, C., Guo, Y., Li, Z., Ahmed, I., Pramod, S. N., Gao, X. et al. (2020). Lipid emulsion enhances fish allergen parvalbumin's resistance to in vitro digestion and IgG/IgE binding capacity. *Food Chemistry*, 302, Article 125333. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125333>
50. Grabenhenrich, L., Trendelenburg, V., Bellach, J., Yürek, S., Reich, A., Fiandor, A. et al. (2020). Frequency of food allergy in school-aged children in eight European countries-The EuroPrevall-IFAAM birth cohort. *Allergy*, 75(9), 2294–2308. <https://doi.org/10.1111/all.14290>
51. Kobayashi, Y., Yang, T., Yu, C. T., Ume, C., Kubota, H., Shimakura, K. et al. (2016). Quantification of major allergen parvalbumin in 22 species of fish by SDS – PAGE. *Food Chemistry*, 194, 345–353. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.08.037>
52. André, F., Cavagna, S., André, C. (2003). Gelatin prepared from tuna skin: A risk factor for fish allergy or sensitization? *International Archives of Allergy and Immunology*, 130, 17–24. <https://doi.org/10.1159/000068370>
53. Kondo, Y., Komatsubara, R., Nakajima, Y., Yasuda, T., Kakami, M., Tsuge, I. et al. (2006). Parvalbumin is not responsible for crossreactivity between tuna and marlin: A case report. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 118(6), 1382–1385. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2006.07.047>
54. Ruethers, T., Taki, A. C., Karnaneedi, S., Nie, S., Kalic, T., Dai, D. et al. (2021). Expanding the allergen repertoire of salmon and catfish. *Allergy*, 76(5), 1443–1453. <https://doi.org/10.1111/all.14574>
55. Kuehn, A., Hilger, C., Lehnert-Weber, C., Codreanu-Morel, F., Morisset, M., Metz-Favre, C. et al. (2013). Identification of enolases and aldolases as important fish allergens in cod, salmon and tuna: Component resolved diagnosis using parvalbumin and the new allergens. *Clinical and Experimental Allergy*, 43(7), 811–822. <https://doi.org/10.1111/cea.12117>
56. Pascal, M., Grishina, G., Yang, A. C., Sánchez-García, S., Lin, J., Towle, D. et al. (2015). Molecular diagnosis of shrimp allergy: Efficiency of several allergens to predict clinical reactivity. *Journal of Allergy Clinical Immunology: In Practice*, 3(4), 521–529.e10. <https://doi.org/10.1016/j.jaip.2015.02.001>
57. Pérez-Tavarez, R., Carrera, M., Pedrosa, M., Quirce, S., Rodríguez-Pérez, R., Gasset, M. (2019). Reconstruction of fish allergenicity from the content and structural traits of the component b-parvalbumin isoforms. *Scientific Reports*. 9(1), Article 16298. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52801-6>
58. Matricardi, P. M., Kleine-Tebbe, J., Hoffmann, H. J., Valenta, R., Hilger, C., Hofmaier, S. et al. (2016). EAACI Molecular Allergy User's Guide. *Pediatric Allergy and Immunology*, 27 (Suppl 23), 1–250. <https://doi.org/10.1111/pai.12563>
59. Wong, L., Tham, E. H., Lee, B. W. (2019). An update on shellfish allergy. *Current Opinion in Allergy and Clinical Immunology*, 19(3), 236–242. <https://doi.org/10.1097/ACI.0000000000000532>
60. Le, T. T. K., Tran, T. T. B., Ho, H. T. M., Vu, A. T. L., McBryde, E., Lopata, A. L. (2020). The predominance of seafood allergy in Vietnamese adults: Results from the first population-based questionnaire survey. *World Allergy Organization Journal*, 13(3), Article 100102. <https://doi.org/10.1016/j.waojou.2020.100102>
61. Liu, M., Huan, F., Li, M., Han, T., Xia, F., Yang, Y. et al. (2021). Mapping and IgE-binding capacity analysis of heat/digested stable epitopes of mud crab allergens. *Food Chemistry*, 344, Article 128735. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128735>
62. Kamath, S. D., Scheibhofer, S., Johnson, C. M., Machado, Y., McLean, T., Taki, A. C. et al. (2020). Effect of structural stability on endolysosomal degradation and T-cell reactivity of major shrimp allergen tropomyosin. *Allergy*, 75, 2909–2919. <https://doi.org/10.1111/all.14410>
63. FAO (2007). Future prospects for fish and fishery products 4. Fish consumption in the European Union in 2015 and 2030 Part I. European overview. FAO Fisheries Circular No. 972/4, Part 1. Rome, 2007
64. Warren, C., Lei, D., Sicherer, S., Schleimer, R., Gupta, R. (2021). Prevalence and characteristics of peanut allergy in US adults. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 147(6), 2263–2270.e5. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2020.11.046>
65. Баймакова, Е. А. (2022). Клинический случай аллергии на морепродукты у младенцев. *Аллергология и иммунология в педиатрии*, 2, 30–32. [Baimakova, E. A. (2022). A case of infant seafood allergy. *Allergology and Immunology in Pediatrics*, 2, 30–32. (In Russian)] <https://doi.org/10.53529/2500-1175-2022-2-30-32>
66. Yamaguchi, C., Ebara, T., Hosokawa, R., Futamura, M., Ohya, Y., Asano, M. (2019). Factors determining parenting stress in mothers of children with atopic dermatitis. *Allergology International*, 68(2), 185–190. <https://doi.org/10.1016/j.alit.2018.08.006>
67. Jhannani, R. D., Levin, S., Rasooly, M., Stone, K. D., Milner, J. D., Nelson, C. et al. (2018). Impact of food allergy on the growth of children with moderate severe atopic dermatitis. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 141, 1526–1529.e4. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2017.11.056>
68. Kuehn, A., Hilger, C., Hentges, F. (2009). Anaphylaxis provoked by ingestion or marshmallows containing fish gelatin. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 123(3), 708–709. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2008.12.012>
69. Ueno, R., Takaoka, Y., Shimojo, N., Ohno, F., Yamaguchi, T., Matsunaga, K. et al. (2020). A case of pediatric anaphylaxis caused by gummy tablets containing fish collagen. *Asia Pacific Allergy*, 10(4), Article e35. <https://doi.org/10.5415/apallergy.2020.10.e35>
70. Warren, C. M., Jiang, J., Gupta, R. S. (2020). Epidemiology and burden of food allergy. *Current Allergy Asthma Reports*, 20(2), Article 6. <https://doi.org/10.1007/s11882-020-0898-7>
71. Goodman, M., Pechère, J.-F., Haiech, J., Demaille, J. G. (1979). Evolutionary diversification of structure and function in the family of intracellular calcium-binding proteins. *Journal of Molecular Evolution*, 13(4), 331–352. <https://doi.org/10.1007/BF01751373>
72. Woods, R. K., Abramson, M., Bailey, M., Walters, E. H. (2001). International prevalences of reported food allergies and intolerances. Comparisons arising from the European Community Respiratory Health Survey (ECRHS) 1991–1994. *European Journal of Clinical Nutrition*, 55, 298–304. <https://doi.org/10.1058/sj.ejcn.1601159>
73. Durham, S. R., Shamji, M. H. (2023). Allergen immunotherapy: Past, present and future. *Nature Reviews Immunology*, 23(5), 317–328. <https://doi.org/10.1038/s41577-022-00786-1>
74. Fogg, M. I., Spergel, J. M. (2003). Management of food allergies. *Expert Opinion on Pharmacotherapy*, 4 (7), 1025–1037. <https://doi.org/10.1517/14656566.4.7.1025>
75. Plotkin, S. A. (2005). Vaccines: Past, present and future. *Nature Medicine*, 11(4 Suppl), S5–S11. <https://doi.org/10.1038/nm1209>
76. Schmiechen, Z. C., Weisler, K. A., Frischmeyer-Guerrero, P. A. (2019). Recent developments in understanding the mechanisms of food allergy. *Current Opinion in Pediatrics*, 31(6), 807–814. <https://doi.org/10.1097/MOP.0000000000000806>

77. Valenta, R., Campana, R., Niederberger, V. (2017). Recombinant allergy vaccines based on allergen-derived B cell epitopes. *Immunology Letters*, 189, 19–26. <https://doi.org/10.1016/j.imlet.2017.04.015>
78. Yu, W., Freeland, D. M. H., Nadeau, K. C. (2016). Food allergy: Immune mechanisms, diagnosis and immunotherapy. *Nature Reviews Immunology*, 16(12), 751–765. <https://doi.org/10.1038/nri.2016.111>
79. Davis, C. M., Gupta, R. S., Aktas, O. N., Diaz, V., Kamath, S. D., Lopata, A. L. (2020). Clinical management of seafood allergy. *The Journal of Allergy Clinical Immunology: In Practice*, 8(1), 37–44. <https://doi.org/10.1016/j.jaip.2019.10.019>
80. Wei, G., Helmerhorst, E. J., Darwish, G., Blumenkranz, G., Schuppan, D. (2020). Gluten degrading enzymes for treatment of celiac disease. *Nutrients*, 12(7), Article 2095. <https://doi.org/10.3390/nu12072095>
81. Kalic, T., Kamath, S. D., Ruethers, T., Taki, A. C., Nugraha, R., Le, T. T. K. et al. (2020). Collagenan important fish allergen for improved diagnosis. *Journal of Allergy Clinical Immunology: In Practice*, 8(9), 3084–3092.e10. <https://doi.org/10.1016/j.jaip.2020.04.063>
82. Klueber, J., Schrama, D., Rodrigues, P., Dickel, H., Kuehn, A. (2019). Fish allergy management: From component-resolved diagnosis to unmet diagnostic needs. *Current Treatment Options in Allergy*, 6(4), 322–337. <https://doi.org/10.1007/s40521-019-00235-w>
83. Rad, L. M., Arellano, G., Podojil, J. R., O’Konek, J. J., Shea, L. D., Miller, S. D. (2024). Engineering nanoparticle therapeutics for food allergy. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 153(3), 549–559. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2023.10.013>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
<b>Принадлежность к организации</b>	<b>Affiliation</b>
<p><b>Царин Сергей Анатольевич</b> — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник, руководитель НОЦКП «Коллекция гидробионтов Мирового океана», Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН (ФИЦ ИнБЮМ) 299011, Севастополь, пр. Нахимова, 2 Тел.: +7-978-768-05-34 E-mail: tsarin@mail.ru ORCID: <a href="http://orcid.org/0000-0003-3333-507X">http://orcid.org/0000-0003-3333-507X</a> * автор для контактов</p> <p><b>Столярчук Никита Максимович</b> — школьник, Центр дополнительного образования «Малая Академия наук» 299055, Севастополь, пр. Генерала Острякова, 163 Тел.: +7-978-629-73-02 E-mail: 100ms@mail.ru ORCID: <a href="http://orcid.org/0009-0003-1168-6204">http://orcid.org/0009-0003-1168-6204</a></p> <p><b>Кузнецов Андрей Вениаминович</b> — доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, отдел аквакультуры и морской фармакологии, Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН (ФИЦ ИнБЮМ) 299011, Севастополь, пр. Нахимова, 2 Профессор, Кафедра физики, Севастопольский государственный университет 299053, Севастополь, ул. Университетская, 33 Тел.: +7-978-744-36-10 E-mail: tsarin@mail.ru ORCID: <a href="http://orcid.org/0000-0002-0015-7994">http://orcid.org/0000-0002-0015-7994</a></p>	<p><b>Sergey A. Tsarin</b>, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Leading Researcher, Head of the Scientific and Educational Center for Collective Use “Collection of hydrobionts of the World Ocean”, A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS 2, Nakhimov ave., Sevastopol, 299011, Russia Tel.: +7-978-768-05-34 E-mail: tsarin@mail.ru ORCID: <a href="http://orcid.org/0000-0003-3333-507X">http://orcid.org/0000-0003-3333-507X</a> * corresponding author</p> <p><b>Nikita M. Stolyarchuk</b>, Schoolboy, Center for Additional Education «Minor Academy of Sciences» 163, General Ostryakov ave., Sevastopol, 299055, Russia Tel.: +7-978-629-73-02 E-mail: 100ms@mail.ru ORCID: <a href="http://orcid.org/0009-0003-1168-6204">http://orcid.org/0009-0003-1168-6204</a></p> <p><b>Andrew V. Kuznetsov</b>, Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher, Department of Aquaculture and Marine Pharmacology, A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS (IBSS) 2, Nakhimov ave., Sevastopol, 299011, Russia Professor, Department of Physics, Sevastopol State University 33, Universitetskaya street, 299053, Sevastopol, Russia Tel.: +7-978-744-36-10 E-mail: andrei.kouznnetsov@hotmail.com ORCID: <a href="http://orcid.org/0000-0002-0015-7994">http://orcid.org/0000-0002-0015-7994</a></p>
<b>Критерии авторства</b>	<b>Contribution</b>
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.	The author has the sole responsibility for writing the manuscript and is responsible for plagiarism.
<b>Конфликт интересов</b>	<b>Conflict of interest</b>
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.