

Труды Всероссийского  
научно-исследовательского  
института рыбного хозяйства  
и океанографии

Периодический научный журнал. Основан в 1935 году. Журнал входит в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Министерства образования и науки Российской Федерации, реферируется в Международных базах данных AGRIS (Agricultural Research Information System), ASFA (Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts), Google Scholar, национальной библиографической базе данных РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) и базе данных ВИНТИ РАН. Выходит 4 раза в год

#### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**Главный редактор** Глубоковский М.К., научный руководитель ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», д.б.н. (Москва, Россия)  
**Ответственный редактор** Буяновский А.И., гл. научный сотрудник ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», д.б.н. (Москва, Россия)  
**Научный редактор** Карпинский М.Г., гл. научный сотрудник ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», д.б.н. (Москва, Россия)

#### РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

*Абрамова Л.С.*, зам. руководителя Департамента ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», д.т.н., профессор (Москва, Россия)  
*Барулин Н.В.*, зав. кафедрой ихтиологии и рыбоводства «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия», к.с.-х.н. (Горки, Республика Беларусь)  
*Бизиков В.А.*, зам. директора по научной работе ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», д.б.н. (Москва, Россия)  
*Бимшиш Р.Дж.*, сотрудник Тихоокеанской биологической станции, доктор наук, почетный ученый (Нанаймо, Канада)  
*Васильев Д.А.*, начальник отдела ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», д.т.н. (Москва, Россия)  
*Габриелян Б.К.*, директор Научного Центра Зоологии и Гидроэкологии Национальной Академии Наук Республики Армения, д.б.н., профессор (Ереван, Армения)  
*Галактионов К.В.*, зав. лабораторией ФГБНУ «Зоологический институт РАН», д.б.н., профессор РАН (Санкт-Петербург, Россия)  
*Долгов А.В.*, гл. научный сотрудник Полярного филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ПИПРО им. Н.М. Книповича»), д.б.н., доцент (Мурманск, Россия)  
*Кантор Ю.И.*, ведущий научный сотрудник ФГБНУ «Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН», д.б.н. (Москва, Россия)  
*Колмаков А.Н.*, директор Центра экономических исследований рыбного хозяйства ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», д.э.н. (Москва, Россия)  
*Колончин К.В.*, директор ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», д.э.н., доцент (Москва, Россия)  
*Котляр А.Н.*, гл. научный сотрудник ФГБНУ «Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН», д.б.н. (Москва, Россия)  
*Крикунев Е.А.*, профессор кафедры ихтиологии Биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, д.б.н., член-корреспондент РАН (Москва, Россия)  
*Кузичин К.В.*, профессор кафедры ихтиологии биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, д.б.н. (Москва, Россия)  
*Лабай В.С.*, зав. лабораторией Сахалинского филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («СахНИРО»), д.б.н. (Южно-Сахалинск, Россия)  
*Лапшиковский В.В.*, сотрудник научного центра по окружающей среде, рыболовству и аквакультуре, д.б.н. (Лоустофт, Великобритания)  
*Левашов Д.Е.*, начальник отдела ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», д.т.н. (Москва, Россия)  
*Лендьел П.*, начальник отдела развития аквакультуры, Министерство сельского хозяйства Венгрии (Сарваш, Венгрия)  
*Мизюркин М.А.*, гл. научный сотрудник, Тихоокеанский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ТИПРО»), д.т.н., профессор (Владивосток, Россия)  
*Мнацаканян А.Г.*, директор института отраслевой экономики и управления ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», д.э.н., профессор КГТУ (Калининград, Россия)  
*Мокиевский В.О.*, гл. научный сотрудник, руководитель лаборатории ФГБНУ «Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН», д.б.н. (Москва, Россия)  
*Папцов А.Г.*, директор ФГБНУ «Федеральный научный центр аграрной экономики и социального развития сельских территорий – Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства», д.э.н., профессор, академик РАН (Москва, Россия)  
*Пахомов Е.А.*, профессор Университета Британской Колумбии, к.б.н. (Ванкувер, Канада)  
*Пинчук А.И.*, доцент Университета Аляски, к.б.н. (Джуно, США)  
*Подкорытова А.В.*, гл. научный сотрудник ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», д.т.н., профессор (Москва, Россия)  
*Политов Д.В.*, гл. научный сотрудник, зав. лабораторией ФГБНУ «Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН», д.б.н. (Москва, Россия)  
*Радченко О.А.*, директор Института биологических проблем Севера Дальневосточного отделения РАН, д.б.н., профессор (Магадан, Россия)  
*Романов Е.В.*, руководитель проектов Технического центра по исследованию и освоению водной среды, к.б.н. (Ле Порт, Реюньон, Франция)  
*Рубан Г.И.*, гл. научный сотрудник ФГБНУ «Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН», д.б.н. (Москва, Россия)  
*Сёмин А.Н.*, зав. кафедрой стратегического и производственного менеджмента ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», д.э.н., профессор, академик РАН (Екатеринбург, Россия)  
*Серёгин С.Н.*, советник директора ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», д.э.н., профессор (Москва, Россия)  
*Тан Цишен*, гл. научный сотрудник Научно-исследовательского института рыбного хозяйства Желтого моря, д.б.н., академик Китайской инженерной академии (Циндао, Китай)  
*Труба А.С.*, гл. научный сотрудник ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», д.э.н., профессор (Москва, Россия)  
*Харенко Е.Н.*, гл. научный сотрудник отдела нормирования ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», д.т.н., доцент (Москва, Россия)  
*Цуй Гоухэй*, Президент Академии рыбохозяйственных наук Китая, д.б.н. (Пекин, Китай)  
*Шунтов В.П.*, гл. научный сотрудник Тихоокеанского филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ТИПРО»), д.б.н., профессор (Владивосток, Россия)

Редактор *Юрова О.С.*  
Компьютерная верстка *Яковлев Ю.С.*  
Формат 60×84 1/8. Печ. л. 27  
Тираж 300 экз.  
Подписан в печать 15.10.2025 г.

**Адрес редакции:**  
105187, Москва, проезд Окружной, 19.  
Тел.: 8 (499) 369-92-86  
E-mail: trudy@vniro.ru  
© ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», 2025

## Proceedings of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography

Periodic scientific journal. It was founded in 1935. The journal is included in the «List of peer-reviewed scientific publications» of the Ministry of education and science of the Russian Federation, where basic scientific results of dissertations on competition of a scientific degree of Candidate of science and Doctor of science must be published. It is referred in International databases AGRIS (Agricultural Research Information System), ASFA (Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts), Google Scholar, the national bibliographic database of RSCI (Russian Science Citation Index) and database VINITI PAS. Published 4 times a year.

### EDITORIAL BOARD

- Editor-in-Chief** – Glubokovsky M.K., Doctor of Biological Sciences, Scientific Supervisor of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), Moscow, Russia
- Executive editor** – Buyanovsky A.I., Doctor of Biological Sciences, Chief scientist of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), Moscow, Russia
- Scientific editor** – Karpinsky M.G., Doctor of Biological Sciences, Chief scientist of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), Moscow, Russia

### EDITORIAL COUNCIL

- Abramova L.S.*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy Head of the department of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), Moscow, Russia
- Barulin N.V.*, head. Department of Ichthyology and Fish Farming «Belarusian State Agricultural Academy Orders of the October Revolution and the Red Banner of Labor», Ph.D. (Gorki, Republic of Belarus)
- Bizikov V.A.*, Doctor of Biological Sciences, Deputy Director for scientific work of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), Moscow, Russia
- Beamish R.J.*, Doctor of Biological Sciences, Emeritus Scientist of the Pacific Biology Station, Nanaimo, Canada
- Cui Guohui*, Doctor of Biological Sciences, President Chinese Academy of Fishery Sciences (CAFS), (Beijing, China)
- Dolgov A.V.*, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Chief Scientist of Polar Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («PINRO named after N.M. Knipovich»), Murmansk, Russia
- Gabrielian B.K.*, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Director of the Scientific Center of Zoology and Hydroecology of the National Academy of Sciences of the Republic of Armenia, Yerevan, Republic of Armenia
- Galaktionov K.B.*, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the laboratory of the Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg, Russia
- Kantor Y.I.*, Doctor of Biological Sciences, Leading Scientist of the A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
- Kharenko E.N.*, Doctor of Technical Sciences, Chief Scientist of the Department of Rationing of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), Moscow, Russia
- Kolmakov A.N.*, Doctor of Economical Sciences, Professor, Director of the Center for Economic Research of Fisheries of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), Moscow, Russia
- Kolonchin K.V.*, Doctor of Economical Sciences, Associate Professor, Director of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), Moscow, Russia
- Kotlyar A.N.*, Doctor of Biological Sciences, Chief Scientist of the P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
- Kriksunov E.A.*, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Chair of Ichthyology of the Biology Department, Lomonosov Moscow State University, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
- Kuzishchin K.V.*, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Chair of Ichthyology of the Biology Department, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
- Labai V.S.*, Doctor of Biological Sciences, Head of the laboratory of the Sakhalin Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries («SakhNIRO»), Yuzhno-Sakhalinsk, Russia
- Laptikhovsky V.V.*, Doctor of Biological Sciences, Marine biologist and stock assessment scientist of the Scientific Center for Environment, Fisheries and Aquaculture, Lowestoft, United Kingdom
- Lendjel P.*, Head of Aquaculture Development Department, Ministry of Agriculture of Hungary (Sarvas, Hungary)
- Levashov D.E.*, Doctor of Technical Sciences, Head of Department of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), Moscow, Russia
- Mizyurkin M.A.*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Scientist of the Pacific Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («TINRO»), Vladivostok, Russia
- Mnatsakanyan A.G.*, Doctor of Economical Sciences, Professor, Director of the Institute of Industrial Economics and Management of the Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia
- Mokievsky V.O.*, Doctor of Biological Sciences, Chief Scientist, Head of the Laboratory of the P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
- Pakhomov E.A.*, Candidate of Biological Sciences, Professor at the University of British Columbia, Vancouver, Canada
- Paptsov A.G.*, Doctor of Economical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Director of the Russian Research Institute of Agricultural Economics of the Federal Research Center for Agricultural Economics and Social Development of Rural Territories, Moscow, Russia
- Pinchuk A.I.*, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, University of Alaska, Juneau, USA
- Podkorytova A.V.*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Scientist of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), Moscow, Russia
- Polotov D.V.*, Doctor of Biological Sciences, Chief Scientist, Head of the laboratory of the Vavilov Institute of General Genetics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
- Radchenko O.A.*, Doctor of Biological Sciences, Professor, Director of the Institute of Biological Problems of the North of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Magadan, Russia
- Romanov E.V.*, Candidate of Biological Sciences, Project manager of the Technical Center for Research and Development of the Aquatic Environment, Le Porte, Reunion, France
- Ruban G.I.*, Doctor of Biological Sciences, Chief Scientist of the A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
- Semin A.N.*, Doctor of Economical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of Strategic and Production Management, Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia
- Seregin S.N.*, Doctor of Economical Sciences, Professor, Advisor to the Director of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), Moscow, Russia
- Shuntov V.P.*, Doctor of Biological Sciences, Professor, Chief Scientist of Pacific Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («TINRO»), Vladivostok, Russia
- Tang Qisheng*, Doctor of Biological Sciences, Chief scientist of the Yellow Sea Fisheries Research Institute, Academician of the Chinese Academy of Engineering (Qingdao, China)
- Truba A.S.*, Doctor of Economical Sciences, Professor, Chief Scientist of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), Moscow, Russia
- Vasilyev D.A.*, Doctor of Technical Sciences, Head of the Fisheries Regulation Department of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), Moscow, Russia

# СОДЕРЖАНИЕ

<i>Глубоковский М.К.</i> От главного редактора.....	5
--	---

<i>Колончин К.В.</i> Рыбохозяйственная наука – ключевое звено для достижения целей технологического суверенитета и обеспечения продовольственной безопасности России.....	7
--	---

## ПРОМЫСЛОВЫЕ ВИДЫ И ИХ БИОЛОГИЯ

<i>Буяновский А.И., Юрьев Д.Н., Жуковская Г.В.</i> Исследования гребенчатой креветки в Татарском проливе. 1. Оценка возрастного состава уловов.....	22
--	----

<i>Кошелев В.Н., Коцюк Д.В.</i> К вопросу сохранения популяций осетровых видов рыб в пограничных водах реки Амур в XXI веке.....	37
---	----

<i>Каев А.М., Ромасенко Л.В., Макоедов А.А.</i> Возможные причины необычной динамики подходов горбуши к Восточному Сахалину и о. Итуруп в 2024 г.....	46
--	----

<i>Подкорытова А.В., Рощина А.Н., Евсеева Н.В., Березина М.О., Баскакова Ю.А.</i> Бурые водоросли <i>Saccharina latissima</i> и <i>Laminaria digitata</i> Белого моря: биохимическая, технологическая характеристика и практическое применение.....	61
--	----

## АКВАКУЛЬТУРА

<i>Дун Ш., Су Ю.</i> Научная и экономическая логика развития глубоководного морского рыбоводства в Китае.....	80
--	----

<i>Ян В., Чэнь М.</i> Анализ международной конкурентоспособности сегмента производства посадочного материала объектов аквакультуры в Китае.....	92
--	----

<i>Сафронов А.С., Барминцева А.Е., Суховер К.В., Щербакова В.Д., Мюге Н.С.</i> Сравнительная характеристика репродуктивных показателей domestцированных и выращенных самок каспийской белуги.....	105
--	-----

<i>Биндюков С.В., Бурлаченко И.В., Артемов Р.В., Гершунская В.В., Арнаутов М.В., Терпугова Н.Ю.</i> Особенности липидного обмена радужной форели при выращивании на комбикормах с различным соотношением полиненасыщенных жирных кислот.....	117
---	-----

## СРЕДА ОБИТАНИЯ ВОДНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

<i>Трофимов А.Г., Сентябрьев Е.В., Ярагина Н.А., Ковалев Ю.А., Ившин В.А., Анциферов М.Ю.</i> Влияние показателей климато-океанологических процессов на параметры состояния запаса трески в Баренцевом море и прилегающих водах.....	131
---	-----

<i>Новиков М.А., Горбачева Е.А., Харламова М.Н.</i> Содержание свинца в промысловых рыбах Баренцева моря (по многолетним данным).....	145
--	-----

## ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ВОДНЫХ БИОРЕСУРСОВ

<i>Шульгина Л.В., Якуш Е.В., Бутенко А.Р.</i> Консервы «Паштет из сайры тихоокеанской» и их значение в питании человека.....	158
---	-----

## ЭКОНОМИКА, МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО И НОРМАТИВНЫЕ ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

<i>Чжан И., Ян Ц., Юань С., Сюй Л.</i> Исследование тенденций изменения объемов потребления рыбной продукции в Китае с точки зрения повышения уровня потребления.....	169
--	-----

<i>Зверев Г.С.</i> Влияние холдингизации на динамику финансовых показателей рыбодобывающей отрасли России в 2014-2023 годах.....	182
---	-----

<i>Мнацаканян А.Г., Харин А.Г.</i> Моделирование уровня потребления рыбы и рыбопродуктов в Российской Федерации.....	196
---	-----

<i>Яркина Н.Н., Логунова Н.А.</i> Корпоративная культура как фактор устойчивого развития предприятий рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации.....	206
--	-----

# CONTENTS

<i>Glubokovsky M.K.</i> From the editor-in-chief.....	5
--	---

<i>Kolonchin K.V.</i> Fisheries science is a key link in achieving the goals of technological sovereignty and ensuring food security for Russia... 7	7
---	---

## COMMERCIAL SPECIES AND THEIR BIOLOGY

<i>Buyanovskiy A.I., Yuriev D.N., Zhukovskaya G.V.</i> The humpback shrimp researches in the Tatar Strait. 1. Approaches to assessment of the catches age structure .....	22
--	----

<i>Koshelev V.N., Kotsyuk D.V.</i> On the issue of preserving sturgeon fish populations in the boundary waters of the Amur River in the 21st century .....	37
---	----

<i>Kaev A.M., Romasenko L.V., Makoedov A.A.</i> Possible causes for the unusual dynamics of pink salmon approaches to Eastern Sakhalin and Iturup Island in 2024 ...	46
---	----

<i>Podkorytova A.V., Roshchina A.N., Evseeva N.V., Berezina M.O., Baskakova J.A.</i> Brown algae <i>Saccharina latissima</i> and <i>Laminaria digitata</i> from the White Sea: their biochemical as well as technological characteristics and practical application. ....	61
--	----

## AQUACULTURE

<i>Dong Sh., Su Yu.</i> Scientific and economic logic of deep-offshore mariculture development .....	80
---	----

<i>Yang W., Chen M.</i> Analysis of international competitiveness of Chinese aquatic seeding industry.....	92
---	----

<i>Safronov A.S., Barmintseva A.E., Sukhover K.V., Shcherbakova V.D., Mugue N.S.</i> Comparative characteristics of reproductive indicators in domesticated and farmed females of Caspian Beluga .....	105
---	-----

<i>Bindukov S.V., Burlachenko I.V., Artemov R.V., Arnautov M.V., Gershunskaya V.V., Terpugova N.Yu.</i> Lipid metabolism of rainbow trout reared on diets with different ratios of polyunsaturated fatty acids.....	117
--	-----

## HABITAT OF AQUATIC BIOLOGICAL RESOURCES

<i>Trofimov A.G., Sentyabov E.V., Yaragina N.A., Kovalev Y.A., Ivshin V.A., Antsiferov M.Yu.</i> The influence of climate-oceanological processes on parameters of the state of cod stock in the Barents Sea and adjacent waters .....	131
---	-----

<i>Novikov M.A., Gorbacheva E.A., Kharlamova M.N.</i> Lead content in commercial fishes of the Barents Sea (based on long-term data) .....	145
---	-----

## AQUATIC BIORESOURCES PROCESSING TECHNOLOGIES

<i>Shulgina L.V., Yakush E.V., Butenko A.R.</i> Pate canned Pacific saury and its importance in human nutrition .....	158
--	-----

## ECONOMICS, INTERNATIONAL COOPERATION AND REGULATORY BASES OF FISHERIES MANAGEMENT

<i>Zhang Y., Yang Z., Yuan X., Xu L.</i> Research on the consumption trend changes of aquatic products in China from the perspective of consumption upgrading ..	169
---	-----

<i>Zverev G.S.</i> The effect of corporate consolidation on financial performance trends in Russia's fishing sector from 2014 to 2023 ...	182
--	-----

<i>Mnatsakanyan A.G., Kharin A.G.</i> Model of fish and fish product consumption in the Russian federation.....	196
--	-----

<i>Yarkina N.N., Logunova N.A.</i> Corporate Culture as a Factor in the Sustainable Development of Fisheries Enterprises in the Russian Federation.....	206
--	-----



## ОТ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

### Первый российско-китайский том Трудов ВНИРО

В 1933 году приказом Наркомснаба СССР были объединены в единый научный институт две организации – Центральный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и Государственный океанографический институт. В результате этого слияния был образован Всесоюзный научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО). К тому времени оба института имели достаточно большой опыт научной деятельности и выпускали свои собственные издания: «Труды ЦНИИ морского рыбного хозяйства» и «Труды ГОИН», так что название издания научных публикаций нового института образовалось вполне естественно: «Труды ВНИРО». Первые три тома, вышедшие в 1935 году, базировались ещё на старых наработках: том 1 «Геологические исследования на Новой Земле» приводил материалы экспедиции 1925-1927 годов ГОИНа; тома 2 и 3 были посвящены научным работам ихтиологической лаборатории и морским млекопитающим Дальнего Востока, по данным ЦНИИ МРХ.

Таким образом, в этом, 2025 году, издание «Труды ВНИРО» отмечает 90-летний юбилей, который совпал также и с выходом нынешнего юбилейного, 200-го тома.

История нашего журнала переживала взлёты и падения. До войны вышли 16 томов, затем последовал 10-летний перерыв, и первый послевоенный выпуск появился в 1951 году. За 30 последующих лет, до 1980 года вышли ещё 124 тома, посвящённые результатам экспедиций, конкретным рыбохозяйственным проблемам или просто как сборники научных статей. Иногда тома объединялись в циклы, с общим названием и обложкой: «Исследования по программе Международного геофизического года», «Бонитет Мирового океана», «Осетровые южных морей Советского Союза», но чаще это были отдельные тома. Пожалуй, наиболее ярким в этом ряду изданий был совместный с «Известиями ТИНРО» выпуск 4-х томов по итогам Беринговоморской научно-промысловой экспедиции ВНИРО-ТИНРО, проведённой в 1960-е годы: «Советские рыбохозяйственные исследования в северо-восточной части Тихого океана». По свидетельству академика РАН М.В. Флинта (ИО РАН), коллеги-американцы с Аляски показывали ему переплетённый машинописный перевод статей всех четырёх томов, который между собой они называли «The Bering Sea Bible». Таким образом, «Труды ВНИРО» завоевали не только внутреннюю, но и международную популярность и авторитет.

К сожалению, в 1980 году нумерация, а также общее название «Труды ВНИРО» были сняты, публикации института стали выпускать отдельными сборниками. С 1981 по 2001 годы было выпущено 109 таких сборников, они были разного научного уровня, однако уже не пользовались такой известностью, многие проходили незаслуженно незамеченными. В 2002 году выпуск журнала «Труды ВНИРО» с продолжением прежней нумерации был возобновлён. Однако выход томов не был регулярным, их редакторами становились инициативные сотрудники ВНИРО, чаще всего

те, которым нужно было опубликовать какие-то свои материалы. Кроме того, выпускаемые тома получали ISBN, а потому не входили в наукометрические проекты.

Все это заставило пересмотреть отношение к «Трудам ВНИРО» и перейти к регулярному выпуску, а само издание зарегистрировать как периодический журнал. В новом формате «Труды ВНИРО» стали выходить в 2013 году, начиная с 150 тома, и это уже 50-й том в новом статусе. За это время мы получили ISSN, зарегистрировались как СМИ, вошли в РИНЦ, список ВАК, ядро РИНЦа, индексацию RSCI, Белый список Правительства России, а также в большое количество менее значимых баз данных и списков. Журнал обрёл свой стиль, узнаваемое лицо, а вместе с этим и уважение, авторитет в научной среде. Всего с 2013 года было опубликовано 806 статей и информационных сообщений, количество авторов учесть крайне сложно, можно лишь констатировать, что они были не только из Центрального института ВНИРО и большинства наших филиалов, рыбохозяйственных ВУЗов (КГТИ, Дальрыбвтуз, АГТУ и др.), но и академических институтов и таких университетов, как Московский, Санкт-Петербургский, Воронежский и другие. Кроме того, журнал вышел и на международный уровень, были опубликованы статьи авторов из Казахстана, Армении, Украины, Польши.

В этом году мы начали интенсивно развивать сотрудничество с Китайской Народной Республикой: в состав Редакционного совета вошли два представителя этой страны, в том числе и доктор Цуй Гохуэй – Президент Академии рыбохозяйственных наук Китая.

Имею честь представить Вам первый тематический российско-китайский том Трудов ВНИРО. В этом юбилейном для нас 200-м томе публикуются, в том числе три статьи китайских учёных.

В сентябре 2025 года решением Правительства России в лице подведомственного ему ФГБУ «Российского центра научной информации», статус журнала Труды ВНИРО был повышен с четвертого до первого уровня «Белого списка» России. Таким образом, можно смело заключить, что наш журнал твёрдо стоит на ногах и вполне заслуженно вошёл в число ведущих рыбохозяйственных изданий.

Главный редактор

*Глубоковский М.К.*



УДК 639.2/.3

## Рыбохозяйственная – наука ключевое звено для достижения целей технологического суверенитета и обеспечения продовольственной безопасности России

К.В. Колончин

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»), Окружной проезд, 19, Москва, 105187

E-mail: vniro@vniro.ru

SPIN-код: К.В. Колончин 9523-5259



**Цель работы:** происходящие глобальные перемены в современном мире касаются вопросов технологического, экономического, социального, экологического характера. Возрастающая антропогенная нагрузка на окружающую среду от хозяйственной деятельности человека оказывает негативное воздействие на работу рыбной отрасли, снижая биоразнообразие океанических объектов, ухудшая среду обитания гидробионтов. Решать этот сложный и многоуровневый круг задач возможно только на научной основе. И в данном исследовании показана роль и значение рыбохозяйственной науки для решения проблем настоящего и будущего периода.

**Методы:** при проведении анализа использовались результаты историко-статистического наблюдения, материалы прогнозных расчетов выполненных в разное время и обобщенных в ходе работы, учитывались формы организации производства крупных компаний ведущих промысел в различных акваториях, социокультурные аспекты, которые позволят более полно и глубоко выявлять основные тренды будущего развития отрасли. Результаты анализа дадут объективное представление о современном состоянии рыбной отрасли во всем многообразии ее связей со смежными отраслями народного хозяйства страны.

**Результаты:** достигнутые результаты рыбной отрасли неразрывно связаны с отраслевой наукой во главе с ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО». Работа института проводится по широкому кругу исследований, касающихся решения таких проблемных вопросов как сохранение биоразнообразия и природных экосистем, что несомненно является безусловным императивом обеспечения будущих поколений рыбой и морепродуктами.

**Практическая значимость:** материалы могут быть использованы государственными институтами для принятия решения об оптимальной эксплуатации водных биоресурсов, без нанесения ущерба природным экосистемам и сохранения биоразнообразия.

**Ключевые слова:** технологический суверенитет, продовольственная безопасность, государственные институты, рыбохозяйственная наука, рыбохозяйственный комплекс.

## Fisheries science is a key link in achieving the goals of technological sovereignty and ensuring food security for Russia.

Kirill V. Kolonchin

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), 19, Okrzhnoy proezd, Moscow, 105187, Russia

**Purpose of the work.** The ongoing global changes in the modern world affect technological, economic, social, and environmental issues. The increasing anthropogenic load on the environment from human economic activity negatively impacts the fishing industry, reducing ocean biodiversity and degrading the habitat of aquatic organisms. This complex and multifaceted range of problems can only be addressed scientifically. This study demonstrates the role and importance of fisheries science in addressing current and future challenges.

**Material and methods.** The analysis utilized the results of historical and statistical observations, forecast calculations conducted at various times and summarized during the study, and took into account the organizational structures of large companies operating in various waters, as well as socio-cultural aspects, which will allow for a more complete and in-depth identification of key trends in the future development of the industry. The results of the analysis will provide an objective picture of the current state of the fishing industry in all its diverse connections with related sectors of the national economy.

**Results.** The achievements of the fishing industry are inextricably linked to industry research led by the Russian State Research Center of Fisheries and Oceanography (VNIRO). The institute's work covers a wide range of research topics related to addressing such pressing issues as the conservation of biodiversity and natural ecosystems, which is undoubtedly an imperative for ensuring future generations have access to fish and seafood.

**Practical significance:** The materials can be used by government institutions to determine the optimal exploitation of aquatic bioresources without harming natural ecosystems and preserving biodiversity.

**Keywords:** technological sovereignty, food security, government institutions, fisheries science, fishery complex.

## ВВЕДЕНИЕ

Сегодня мир стоит на пороге больших перемен – происходит слом прежней модели развития и переход к новому глобальному экономическому и политическому порядку. Глобальная трансформация затрагивает решение множества вопросов технологического, экономического, социального, экологического характера. Процессы изменения климата и урбанизация уже в настоящее время оказывают сильное воздействие на рынок продовольствия при растущем населении Земли. И в этих условиях необходимо больше производить различных видов пищевой продукции, чтобы решать проблемы голодающего населения в различных регионах планеты. Современный технологический прогресс привёл к значительному росту возможностей удовлетворения общественных потребностей человека, в том числе, и в продуктах питания. И в то же время небывалый рост имущественного и социального неравенства поставил вопрос о том, как будет решена проблема мирового голода и как изменятся продовольственные привычки – что будет едой богатых, а что – едой бедных, вопрос не праздный, он стоит на повестке дня многих стран. Россия, обладая колоссальными природными ресурсами, способна участвовать в решении этой глобальной проблемы.

Другая сторона рассматриваемой проблемы, связанной с технологическим прогрессом, развитием современных технологий, дающим возможность высокого уровня обеспечения пищей растущего населения Земли, ставит перед мировым сообществом более сложные вопросы относительно имеющихся ресурсов нашей планеты, сохранения экологии и биоразнообразия.

Сохранение биологического разнообразия в современном мире стоит в числе ключевых приоритетов мирового сообщества, определяя долгосрочные тренды сохранения природных экосистем, окружающей среды в различных акваториях и среды обитания ихтиофауны.

На всемирной конференции глав государств ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро в 1992 году была принята Конвенция о биологическом разнообразии,<sup>1</sup> этот документ рассматривает биоразнообразие на всех уровнях – экосистем, видов, генетических ресурсов.

Достижение целей этой глобальной и многоуровневой задачи возможно только на основе использова-

ния достижений современной науки, разработки национальных стратегий и программ сохранения и использования биологического разнообразия.

Техногенная цивилизация современного мира в своём развитии не знает пределов. Она развивается всё быстрее и быстрее, поглощая всё большее количество ресурсов, что влечёт за собой неизбежное столкновение этой цивилизации с природой, истощение природных ресурсов и экологическую катастрофу. Поэтому не важно, на каких принципах развивается экономика, на частном или общественном производстве, в конечном своём пункте они имеют один и тот же обрыв – экологическую катастрофу [Шафаревич, 2014].

### Обзор современного состояния рыбохозяйственного комплекса России

С учётом всех этих тенденций ведущие учёные приходят к выводу, что глобальная мировая система оказывается в состоянии неизбежного ресурсного дефицита и социоприродной деградации. Неконтролируемый процесс роста потребления всех видов ресурсов необходимо остановить, а глобальную систему привести в состояние устойчивого социального, экономического и экологического равновесия, это тот императив, который должен стать во главу проводимой политики всеми индустриально развитыми странами.

Происходящие глобальные изменения оказывают негативное воздействие и на функционирование рыбохозяйственного комплекса, работа которого непосредственно связана с природной средой. В результате, под реальной угрозой оказывается выживание традиционных видов морской фауны и флоры, сокращается биоразнообразие океанических объектов, ухудшается среда обитания гидробионтов, и это находит свое отражение на состоянии промысловых запасов водных биологических ресурсов.

С начала прошлого века население выросло пятикратно, а вылов рыбы увеличился в тридцать пять раз [Мировое рыболовство, 2024].

Рыбохозяйственный комплекс, являясь важнейшим сектором народного хозяйства России, обеспечивает продовольственную безопасность государства и относится к секторам экономики, имеющим большое значение для сохранения социальной стабильности в прибрежных субъектах Российской Федерации, где предприятия рыбной промышленности являются градо- и посёлкообразующими, определяя социальную политику значительной части данных территорий.

Снабжение населения разнообразными пищевыми продуктами является основной задачей любого государства независимо от общественного строя

<sup>1</sup> [https://www.un.org/ru/documents/decl\\_conv/conventions/biodiv.shtml](https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/biodiv.shtml)

и уровня его социально-экономического развития, это объясняется тем, что пищевая продукция является одной из составляющих общественных благ, без которого невозможно представить само существование общества.

Российская рыбная промышленность за последние десять лет, работая в сложных геополитических условиях, введённых разного рода западных санкций, законодательными изменениями пережила серьёзную трансформацию и добилась хороших результатов по всем направлениям своей деятельности. В настоящее время объёмы вылова и производимой рыбной продукции обеспечили потребности внутреннего рынка и расширили экспортные поставки на мировые продовольственные рынки.

По итогам 2024 года российские рыбаки добыли более 4,9 млн тонн водных биоресурсов. Этого объёма достаточно для удовлетворения спроса на внутреннем рынке и экспортных поставок. В прошлом году экспорт рыбной продукции составил 2,1 млн тонн, включая рыбную муку (150 тыс. тонн) и рыбий жир (24 тыс. тонн). В денежном выражении – 5,2 млрд долларов. География внешних поставок расширяется, рыбу и рыбную продукцию российского производства закупают порядка 90 стран мира.

Если говорить об объёмах производства рыбной продукции, которые необходимы для обеспечения продовольственной безопасности, то следует отметить, что установленные в Доктрине продовольственной безопасности России критерии по потреблению рыбы и рыбопродуктов уже достигнуты, а среднедушевое потребление рыбы достигло максимума с 2015 года, составив 23,5 кг в 2024 году.

В то же время, учитывая мировой опыт и современные достижения нутрициологии, высшим руководством страны, с учётом рекомендаций Минздрава России, поставлена задача довести среднедушевое потребление рыбы до 28 кг в год. Необходимые ресурсы в стране для решения этой задачи есть, но их использование должно быть сбалансировано с учётом внутреннего потребления и наращивания экспорта рыбной продукции. Задача эта непростая, она выходит за рамки работы рыбной отрасли, о чём свидетельствует утверждённый в 2024 году Заместителем председателя Правительства РФ План мероприятий по увеличению внутреннего потребления отечественной рыбной продукции на период до 2030 года<sup>2</sup>. В рамках данного плана создано АНО «Агентство по продвижению рыбной продукции». Сейчас АНО «Агентство по про-

движению рыбной продукции» проводит маркетинговые исследования, и в проведении этих исследований участвуют сотрудники Центра экономических исследований рыбного хозяйства ВНИРО.

Сегодня в отрасли активно идёт модернизация технико-технологической базы за счёт применения инвестиционного механизма квот для строительства рыбоперерабатывающих заводов, современных рыбопромысловых судов. В рамках второго этапа программы квот на инвестиционные цели предусматривается создание портовой инфраструктуры, строительство транспортных рефрижераторов. Хорошую динамику показывает развитие аквакультуры, активно идёт строительство новых комплексов, в том числе для нужд аквакультурных хозяйств, получение рыбопосадочного материала и производство кормов. Расширяются акватории для аквакультурных хозяйств.

Претворение в жизнь намеченных программных документов будет определять будущий облик рыбохозяйственного комплекса России.

### История ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»

Успехи рыбной отрасли неразрывно связаны с использованием исследований, проводимых отраслевой наукой в лице ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО». Институт является уникальным научным учреждением рыбохозяйственной отрасли России, он по праву считается институтом мирового масштаба.

ВНИРО имеет длинную, интересную и богатую историю. Начало свое институт ведет с 1881 года в северном поморье с основания Соловецкой биологической станции (в 1899 год она была преобразована в Мурманскую биологическую станцию) (рис. 1), когда было учреждено Российское общество рыбоводства и рыболовства. Именно с этого года рыбохозяй-



Рис. 1. Соловецкая (Мурманская) биологическая станция  
Fig. 1. Solovetsky (Murmansk) biological station

<sup>2</sup> <https://vos-mo.ru/upload/iblock/dfc/0ckzeyi4yrvgtvlcehe11ixm4t4zupjp/plan.pdf>

ственная наука перестала быть уделом энтузиастов-одиночек и получила всестороннюю государственную поддержку.

14 мая 1896 г. Государь Император даровал Российскому обществу рыбоводства и рыболовства наименование «Императорского» и был принят его Устав (рис. 2).

Гордость и славу ВНИРО обеспечили выдающиеся учёные, работавшие в разное время в научно-исследовательских институтах нашей огромной страны. Среди плеяды организаторов рыбохозяйственной науки были такие видные учёные, как Книпович Н.М., Месяцев И.И., Баранов Ф.И., Державин А.Н., Марти Ю.Ю., Ижевский Г.К., Виноградов Л.Г., Расс Т.С.,

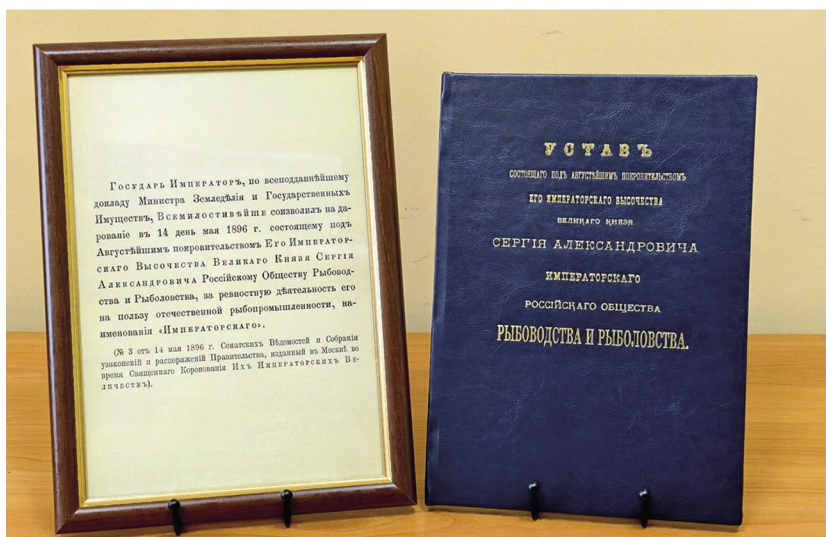


Рис. 2. Устав Императорского Российского общества рыбоводства и рыболовства

Fig. 2. The Charter of the Imperial Russian Society of Fish Farming and Fisheries

В 1920 году на базе Главрыбы было создано Научрыббюро, в котором начали трудиться бывшие члены Российского общества рыбоводства и рыболовства. Свои исследования учёные советской рыбохозяйственной науки публиковали в журнале «Рыбное хозяйство», который продолжил дело журнала «Вестник рыбопромышленности», издаваемого Обществом с 1882 года.

В 1922 году в Москве, на базе Научрыббюро, был создан Институт рыбного хозяйства. К 1930 году Институт включал в себя 16 филиалов.

Но уже в 1929 году Мурманская биологическая станция объединилась с Плавучим морским научным институтом, на базе которого был создан Государственный океанографический институт.

В 1933 году приказом Наркомснаба СССР Всероссийский институт рыбного хозяйства был объединен с Государственным океанографическим институтом (ГОИН). Результатом объединения стало создание Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии. Идея создания такого комплексного и многопрофильного научного учреждения была призвана разработать научные основы рационального вылова промысловых объектов и их промышленной переработки.

Моисеев П.А., Елизаров А.А., Студенецкий С.А., Багров А.М., Новиков Н.П., Шунтов В.П. [Рыбохозяйственной науке ..., 2011]

Подготовка кадров высшей квалификации составляет важнейший компонент формирования кадрового потенциала института. Эти задачи успешно решает аспирантура, где молодые специалисты имеют возможность получать профессиональное и личностное развитие, способность самостоятельно вести исследовательскую работу. В центральном институте и его филиалах более половины научных сотрудников имеют учёные степени и учёные звания. В 2024 году во ВНИРО вели научные исследования 88 докторов наук, 535 кандидатов наук, 29 профессоров и 82 доцента.

### Современные задачи

В настоящее время институт проводит комплексные научные исследования состояния и среды обитания водных биологических ресурсов во всех рыбохозяйственных бассейнах страны и в Мировом океане. На основе проводимых исследований разрабатывается научно обоснованный прогноз добычи водных биоресурсов и устанавливаются общие допустимые уловы (ОДУ), рекомендованный вылов (РВ) и прогнозируемый вылов (ПВ) в водах российской юрисдик-

ции, а также государственные меры регулирования и ограничения вылова, устанавливаемые правилами рыболовства [Колончин, 2023].

Ключевым приоритетом работы института по всем направлениям проводимых исследований является научное обоснование системы государственного управления водными биологическими ресурсами и их рационального использования.

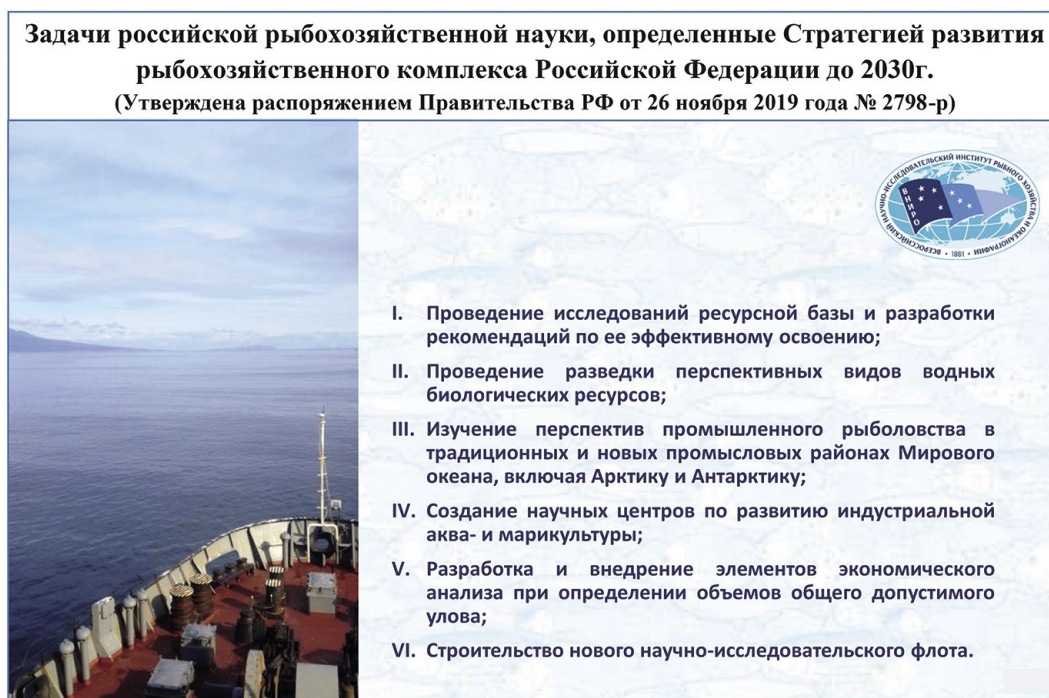
Стратегией развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации до 2030 года определена роль и значение рыбохозяйственной науки для устойчивого развития рыбной отрасли. Новые геополитические и социально-экономические реалии современного развития продовольственного комплекса России требуют иных подходов к оценке и использованию ресурсов, устойчивости функционирования всей этой сложной и многоуровневой системы, обеспечивающей продовольственную и национальную безопасность страны (рис. 3).

С учётом изменившихся внешних условий для повышения координации работы в 2019 году в состав ВНИРО вошли 29 филиалов, расположенных во всех рыбохозяйственных бассейнах России. Решение о включении всех отраслевых НИИ в единую систему Всероссийского НИИ рыбного хозяйства и океанографии было сложным, но сейчас мы видим, что данное решение было правильным (рис. 4).

Проведение научных экспедиций в различных акваториях для сбора и обработки полученной информации о состоянии среды обитания и состояния ихтиофауны, оценки запасов водных биологических ресурсов требует наличия современного научно-исследовательского флота. Сегодня ВНИРО имеет научно-исследовательский флот, оснащённый современными лабораториями и экспериментальными рыболовными комплексами, в которых работают опытные учёные и высококвалифицированные специалисты, новые суда строятся на Адмиралтейских верфях.

Все это позволило в 2024 году провести 967 научных экспедиций, в том числе на судах научно-исследовательского флота ВНИРО (рис. 5).

Важным событием в жизни института стало присвоение ему статуса Государственного Научного Центра Российской Федерации в соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации от 3 мая 2024 года № 1091-р. В рамках реализации этого распоряжения институтом разработана Программа развития центра на 2024-2026 годы. Это большое событие в жизни института ко многому обязывает учёных и специалистов, ведь их научная работа во многом определяет сохранение и управление водными биоресурсами, сохранение биоразнообразия и обеспечение будущих поколений рыбой и морепродуктами.



**Рис. 3.** Задачи российской рыбохозяйственной науки, определённые Стратегией развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации до 2030 г.

**Fig. 3.** Objectives of the Russian fisheries science defined by the Strategy for the Development of the Fisheries complex of the Russian Federation until 2030



Рис. 4. Единая система Всероссийского НИИ рыбного хозяйства и океанографии

Fig. 4. Unified system of the All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography



Рис. 5. Суда научно-исследовательского флота

Fig. 5. Vessels of the scientific research fleet

Важнейшим императивом современного развития экономики России является обеспечение технологического суверенитета, решение этой задачи в полной мере касается и рыбной отрасли. Основные вопросы, которые предстоит решать отрасли для обеспечения технологического суверенитета, приведены ниже:

- преодоление различного рода санкций недружественных стран;
- способность производить необходимые объёмы продукции с использованием отечественных ресурсов;
- применение собственных научных разработок и безотходных технологий полного цикла;

– возможность проводить государственную политику, отвечающую национальным интересам России.

### Перспективы развития

Установленные сроки следует рассматривать с учётом принятых национальных проектов, стратегий, государственных программных документов, достижения целей обеспечения технологического суверенитета с горизонтом 2030-2036 гг. Эти сроки вполне реальны с учётом имеющегося научно-технологического задела и ресурсного обеспечения. В сложном, нестабильном и непредсказуемом мире рассматривать иные горизонты достижения целей технологического



Рис. 6. Основные направления обеспечения технологического суверенитета

Fig. 6. The main directions of ensuring technological sovereignty

суверенитета не допустимо, это связано с обеспечением национальной безопасности страны для достижения национальных целей развития.

Этих горизонтов придерживаемся и мы в вопросах развития рыбохозяйственной науки по основным направлениям проводимых исследований.

Вызовы настоящего времени – климатические, ресурсные, экологические, диктуют необходимость решать предстоящие задачи и искать новые механизмы их реализации с опорой на достижения научно-технического прогресса. Многие вопросы отражены в перечне поручений по реализации Послания Президента Российской Федерации Федеральному Собранию Российской Федерации от 29 февраля 2024 г.<sup>3</sup> И хотя поручения Президента рассматривают все аспекты развития национальной экономики и социальной сферы, многие из них напрямую относятся и к развитию продовольственного комплекса:

- увеличение к 2030 году объема производства продукции агропромышленного комплекса не менее чем на 25 процентов и экспорта продукции агропромышленного комплекса не менее чем в 1,5 раза по сравнению с 2021 годом;

- увеличение к 2030 году доли отечественных высокотехнологичных товаров и услуг, созданных на основе собственных линий разработки, в общем объеме потребления таких товаров и услуг в Российской Федерации в 1,5 раза по сравнению с 2023 годом.

Стоит подчеркнуть, что в качестве основных приоритетов перед исследователями ставятся вопросы, связанные с решением проблем в области здравоохранения и биотехнологий, именно эти направления

станут ключевыми при формировании VI технологического уклада.

Для рыбохозяйственной науки достижение технологического суверенитета означает научное сопровождение работы организаций рыбохозяйственного комплекса с целью обеспечения независимости рыбной отрасли от разного рода санкций, способность производить необходимые объемы продукции с использованием отечественных ресурсов и собственных научных разработок и технологий, возможность проводить политику, отвечающую национальным интересам России. На рис. 6 представлены основные направления обеспечения технологического суверенитета.

Научные исследования ВНИРО имеют большое прикладное значение и охватывают вопросы создания и развития научных основ рыбохозяйственной деятельности, охраны, управления, рационального использования, изучения, сохранения, воспроизводства водных биоресурсов и среды их обитания на основе научных прогнозов, развития аквакультуры, международной деятельности.

Разработка прогнозов добычи водных биоресурсов задача сложная, обусловленная множеством факторов. Особенность рыболовства и определение запасов водных биоресурсов в различных акваториях заключается в пространственной концентрации отдельных видов рыб и их большой подвижности, пути миграции которых определяются наличием кормовой базы и состоянием среды обитания. Сроки проведения путины также учитываются при разработке прогнозов.

Разрабатываемые институтом научные прогнозы вылова и рекомендации по потенциальной сырьевой базе российского рыболовства обеспечивают нашей

<sup>3</sup> <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50431>

стране возможность ежегодно вылавливать более 5,3 млн тонн различных видов водных биоресурсов [Колончин и др., 2024].

Наглядным примером достоверности разрабатываемых прогнозов может служить информирование рыбаков о восстановлении запасов дальневосточной сардины. На основании материалов мониторинга водных биологических ресурсов и среды их обитания, прикладных научно-исследовательских работ в 2014-2015 гг. рыбохозяйственной наукой было сделано заключение об ожидаемом восстановлении запасов дальневосточной сардины (иваси) в тихоокеанских водах Курильских островов. Согласно рекомендациям рыбохозяйственной науки, российские рыбаки с 2016 г. приступили к экспериментальному промыслу сардины и скумбрии в исключительной экономической зоне России. Результаты оказались весьма успешными: вылов сардины увеличился с 6,7 тыс. тонн в 2016 году до 222,1-308,7 тыс. тонн в 2020-2022 гг., а в 2024 году достиг рекордного уровня за последние 30 лет – 575 тыс. тонн.

Аналогичный пример, это открытие нового района промысла минтая в Чукотском море, в 2022-2023 гг. уловы достигли 20 тыс. тонн. Кроме этого, в море Лаптевых отмечены промысловые скопления сайки, запасы которой в придонном слое оцениваются на уровне 200 тыс. т, а также обнаружены скопления чёрного палтуса.

В целях сохранения арктических экосистем и более полного использования ресурсного и воспроизводительного потенциала водных объектов региона продолжается работа по мониторингу литоралей и эстуарных зон, где сосредоточены значительные ресурсы – лососевые, сиговые и другие полупроходные и проходные рыбы.

Систематические морские ресурсные исследования тихоокеанских лососей и внедрение новых схем учётов, обработки данных, в том числе различные методы дифференциаций региональных стад лососей в смешанных морских уловах и использование генетических маркеров, а также изотопных методов исследования физиологии лососей дают возможность прогноза выживаемости поколений в ходе зимовки, повышая точность промыслового прогнозирования.

Таким образом, разработана, внедрена и успешно применяется уникальная, практически не дающая сбоев система прогнозирования подходов, основанная на проведении систематических съёмов по учёту мигрирующей в океан молоди и предпутинных съёмов по учёту возвращающихся взрослых рыб.

За рассматриваемый период отечественный промысел тихоокеанских лососей продемонстрировал

несколько высочайших пиков вылова: 609,6 тыс. т – в 2023 г., 538,9 тыс. т – в 2021 г. и 678,6 тыс. т – в 2018 г., 2024 г. – 238 тыс. т.

Специфика и научные направления проводимых исследований в целях сохранения и рационального использования водных биоресурсов возможны только при широком участии рыбодобывающих стран. Международное сотрудничество имеет широкую географию, Россия является участником многих международных организаций, регулирующих добычу водных биологических ресурсов в различных акваториях, и это сотрудничество оказывает существенное влияние на видовой состав добываемых гидробионтов, их объёмы и, в конечном счете, на ценовую конъюнктуру рынка рыбной продукции. Сегодня ВНИРО представляет интересы Российской Федерации в 14 двусторонних комиссиях по рыбному хозяйству, различных международных организациях и региональных рыбохозяйственных организациях.

Институт тесно сотрудничает с Русским географическим обществом, которое было основано по высочайшему повелению Николая I в 1845 году. За последнее время совместно с этой общественной организацией было проведено девять совместных экспедиций, география которых довольно обширна. Долгосрочная комплексная экспедиция на острова Курильской гряды «Восточный Бастион – Курильская гряда» и комплексная экспедиция на архипелаг Новая Земля, архипелаг Франца Иосифа позволяют не только проводить научные исследования по вопросам рыбохозяйственной науки. Но и не менее важный аспект этой работы – это популяризация науки и привлечение внимания наших граждан к изучению родной земли и тем, кто готов помогать сохранению её природных богатств.

В рамках научно-технологического развития ВНИРО выступает в качестве ведущей организации при реализации таких программных документов как «Наука о жизни», «Рациональное природопользование», а также участвует в реализации Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, утверждённой Указом Президента РФ от 28 февраля 2024 года № 145<sup>4</sup>.

Важное направление работы института также связано с участием в реализации национальных проектов, из 19 принятых национальных проектов в семи из них учёные института принимают активное участие.

Широкое применение в рыбохозяйственных исследованиях будут иметь дроны вертолётного и самолётного типа. Оснащённые камерами высокого раз-

<sup>4</sup> <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50358>

решения в оптическом и инфракрасном диапазонах, компьютерными «мозгами» с элементами искусственного интеллекта и машинным зрением, эти дроны смогут работать в режиме роя, осуществляя быстрое сканирование обширных акваторий. У таких беспилотных летательных аппаратов в рыбохозяйственных исследованиях большое будущее. Они эффективны для авиаучётов численности тихоокеанских лососей в нерестовых реках, сельди в прибрежной зоне, морских млекопитающих на больших акваториях, для картирования подводных ландшафтов в прибрежной зоне и оперативного мониторинга любительского рыболовства во внутренних водоёмах [Бизиков и др., 2019; Дуленин и др., 2021].

Для России, как одной из ведущих рыбодобывающих стран, обеспечивающих внутренний рынок и поставляющих большие объёмы продукции на экспорт, основой укрепления продовольственной безопасности становится задача рационального использования имеющихся биоресурсов и внедрение технологий глубокой переработки [Колончин и др., 2024].

Выпуск продукции нового пищевого статуса связан с разработкой новых технологий по всему спектру пищевой продукции, ряд технологий для производства новых видов продукции разработан, для других необходимы проведение научных исследований для создания безотходных технологий полного замкнутого цикла. Но, несмотря на определённый научный задел, многие из действующих и разработанных технологий нуждаются в доработке в соответствии с новыми требованиями нутрициологии и медицины. Здесь также необходимо отметить, что технологии продукции нового пищевого статуса намного сложнее традиционных технологий, требуют для своего внедрения более современного технологического оборудования с точной дозировкой применяемых ингредиентов. Стремительное изменение современного мира с разработкой и внедрением инновации и технологии на базе цифровых платформ, внедряемых в производство, несомненно, окажут серьёзное влияние на рынок труда, сектора с высокотехнологичными процессами производства потребуют иного вида специалистов, чем сегодня, но и уровень заработной платы для этой категории специалистов будет несоизмеримо выше остальных. Поэтому новые технологии будут порождать для определённого круга специалистов существенные выгоды, для остальных малоквалифицированных кадров потери.

Поэтому вне зависимости от возможного ослабления санкций, которые когда-то будут отменены, стратегические ориентиры будущего развития рыбохозяй-

ственного комплекса и отраслей промышленности его обслуживающих должны выстраиваться с опорой на отечественный научно-технологический и кадровый потенциал, способный решать все стоящие вопросы по обеспечению продовольственной безопасности страны. Именно такое построение данного императива должно стать основной доминантой в новой парадигме развития рыбохозяйственного комплекса. Она должна базироваться на современных нормативно-правовых актах, государственных институтах развития, исходить из основополагающего положения о сложной и многоуровневой системе рыбной отрасли, которая нуждается в государственной поддержке, как важнейшего звена в обеспечении национальной безопасности нашего государства.

К числу основных приоритетов отнесено решение задач по повышению экономической эффективности работы всех секторов рыбной отрасли, снижение издержек производства, за счёт современных безотходных технологий глубокой переработки исходного сырья, создание современных логистических систем, способных обеспечить ценовую стабильность на рынке рыбной продукции. Ставится задача по расширению проведения научных исследований промысла как в зоне юрисдикции России, так и за пределами 200-мильной экономической зоны, в Арктике, Антарктике, продолжение исследований в пресноводных водоёмах. Неиспользованные в настоящее время ресурсы в развитии отрасли касаются добычи криля и морских водорослей, решение данного вопроса находится только на первой стадии и предстоит провести широкий круг научных исследований по этой проблеме, чтобы это направление целенаправленно вписывалось в рост экономики рыбной отрасли.

Особая тема, с которой связан рост экономики рыбохозяйственного комплекса, это развитие аквакультуры, динамика развития этого сектора за последние годы набирает хорошие обороты с ежегодным приростом 10-12 процентов.

Аквакультура является надёжным и управляемым источником получения качественной рыбной продукции, она находит применение также в фармакологической промышленности. И хотя доля аквакультуры сегодня не превышает 5% от производства продукции из водных биоресурсов, климатические условия России и водный фонд позволяют развивать все направления аквакультуры [Митин и др., 2025].

Сегодня выстраивается необходимая структура производства, востребованная рынком и позволяющая иметь хорошие финансовые и экономические результаты производителям аквакультуры. Решения проблем развития аквакультуры требуют создания

современных предприятий для производства кормов и посадочного материала на основе разработки российских технологий с целью импортозамещения в условиях санкций, здесь создан хороший научный задел для реализации указанных проблем.

Учёными ВНИРО был проделан большой объём научных разработок, их апробация в установленные сроки и внедрение результатов исследований в практику позволили практически за два года решить многие вопросы в области производства аквакультуры.

Учёные ВНИРО явились основоположниками товарного рыбоводства и искусственного воспроизводства, создали признанные научные школы в области технологий разведения и выращивания, акклиматизации объектов аквакультуры, их кормления, лечения, генетики и селекции. На рис. 7 показаны основные направления производства аквакультуры.

Разработка современных технологий выращивания аквакультуры представлена на рис. 8. Набор технологий полного цикла включает различные направления деятельности, начиная с выращивания посадочного материала и заканчивая производством товарной продукции.

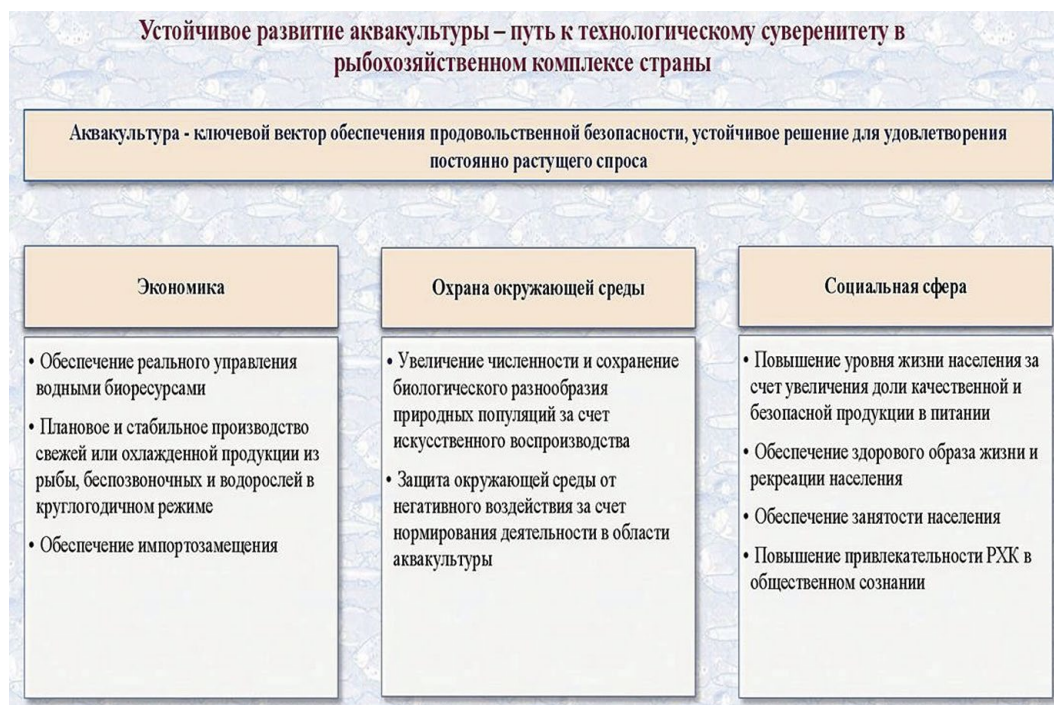
Способствовать повышению динамики развития аквакультуры будут цифровые платформы и внедрение автоматизированных систем управления технологическими процессами на предприятиях, занимаю-

щихся производством аквакультуры в замкнутых системах водоснабжения.

В этом вопросе роль науки неоспорима, ведь горизонты планирования добычи и сохранения водных биоресурсов, производство аквакультуры, вопросы экологии решаются учёными ВНИРО. Научные организации определяют географию акваторий по добыче конкретных видов биоресурсов, возможные объёмы изъятия тех или иных видов рыб с учётом принятых международных обязательств в рамках сотрудничества с ведущими рыбодобывающими странами.

Большая работа проводится институтом в области разработки новых технологий различных направлений. Ввод в эксплуатацию в 2019 г. инновационного научно-производственного центра марикультуры на о. Попова – единственного в России, позволил перейти от экспериментов к созданию и внедрению технологий массового культивирования беспозвоночных и водорослей в заводских условиях. За прошедшие годы разработаны, апробированы и введены в производственную практику технологии получения молоди дальневосточного трепанга, приморского гребешка, тихоокеанской устрицы, ламинарии японской.

Геополитическое присутствие Российской Федерации в Антарктике диктует необходимость проведения научных исследований в отношении антарктического криля, ресурсы которого являются наиболее перспек-



**Рис. 7.** Основные направления устойчивого развития аквакультуры  
**Fig. 7.** The main directions of sustainable development of aquaculture



**Рис. 8.** Разработка инновационных технологий выращивания товарной аквакультуры

**Fig. 8.** Development of innovative technologies for growing commercial aquaculture

тивными для отечественного океанического промысла. Научно-исследовательский рейс СТМ «Атлантида» в Антарктической части Атлантики в 2019-2022 гг., ознаменовал возобновление отечественных комплексных экспедиционных исследований криля, не выполняемых около 20 лет. Акустическая съёмка показала, что запасы антарктического криля находятся на хорошем уровне и представляют интерес для промысла, что позволило разработать научно-обоснованные рекомендации по эффективному освоению сырьевой базы криля отечественным рыбопромысловым флотом.

Важным направлением ресурсных исследований в 2014-2025 гг. было изучение состояния запасов пелагических рыб Северо-Западной Африки. В рамках межправительственных Соглашений между Российской Федерацией и Королевством Марокко ежегодно выполнялись экспедиционные работы по оценке пополнения мелких пелагических рыб, которые составляют основу российского промысла в этом районе. Благодаря выполнению этих работ удастся сохранить позиции российского рыболовства в одном из наиболее продуктивных районов Мирового океана. В настоящее время сотрудничество с африканскими странами имеет стратегический и долгосрочный характер,

перспективность развития сотрудничества, в том числе в области рыболовства, подчеркнута в ходе Саммитов Россия – Африка в 2019 и 2023 гг.

В зоне Королевства Марокко и Исламской Республики Мавритания вылов России массовых пелагических рыб может быть увеличен на 100-150 тыс. тонн в год, практически удвоен. Для достижения этой цели начато проведение двухлетней экспедиции в 2024-2025 годах в прибрежных водах стран Африки (Марокко, Мавритания, Гвинея-Бисау, Гвинея-Конакри, Сьерра-Леоне, страны Гвинейского залива, Ангола, Эритрея, Мадагаскар, Мозамбик, Маврикий).

Стратегически важным районом отечественного рыболовства остаётся Южная часть Тихого океана, где в прошлом столетии отечественными учёными и рыбаками разведаны значительные запасы пелагических рыб в открытых водах за пределами рыболовных зон прибрежных стран. Благодаря научным исследованиям России удаётся сохранять доступ для российского рыболовства к богатым ресурсам этого района.

В 2013 г. институтом впервые были проведены исследования краба-стригуна опилю в Баренцево море, которые позволили оценить перспективу его использования для промышленной переработки с целью

получения хитина, хитозана, ферментных препаратов и комплекса каратиноидов. В 2025 году НИС «Профессор Бойко» провело траловую съёмку камчатского краба в акватории Баренцева моря. Траловые съёмки камчатского краба, проведённые в последние годы ПИНРО им. Н.М. Книповича, показали постепенное расширение его ареала на север и восток, подтвердив необходимость увеличения объёма исследований его ареала на этих окраинах.

По результатам ежегодных исследований в Баренцевом море подтверждено хорошее состояние запасов промысловых беспозвоночных – краба-стригуна опилю, камчатского краба и креветки. В Северном рыбохозяйственном бассейне ежегодно выполнялись совместные российско-норвежские съёмки, направленные на оценку запасов основных промысловых видов рыб: трески, пикши, камбал, зубаток, сельди и окуней [Котенев, 2019].

Балтийское море относится к числу важных в рыбопромысловом отношении бассейнов. Поскольку рыболовство занимает значительное место среди других морских отраслей прибалтийских государств, решение вопросов сохранения природной среды и живых ресурсов, глубокого изучения процессов функционирования экосистемы лежит в основе использования биоресурсов Балтийского моря.

Регулярные отечественные рыбохозяйственные исследования Куршского и Вислинского (Калининградского) заливов Балтийского моря начались с февраля 1957 г. При этом первоочередной являлась разработка биологически обоснованных мер регулирования рыболовства, направленных на восстановление запасов ценных биоресурсов и их рациональное использование. Эта задача остаётся основной в деятельности института и в текущий момент.

Общий среднегодовой вылов рыбы в Балтийском море составляет порядка 0,7 млн тонн. Активная позиция России по международному сотрудничеству в области исследований рыбного промысла в Балтийском море, несмотря на ограниченность общей отечественной акватории моря – 10%, позволяет российским рыбакам добывать от 5 до 13% общего вылова основных промысловых объектов водных биоресурсов (т. е. в среднем 8-9% всей вылавливаемой в Балтике рыбы).

Отечественное рыболовство в Балтийском море и его заливах на сегодняшний день является важнейшей социальной и продовольственной составляющей такого анклавного региона на западе страны как Калининградская область.

Наиболее динамичные процессы в последние десять лет проходили в Азовском и Чёрном морях. За

этот период в правовое поле Российской Федерации вошло 6 новых регионов: Республика Крым и г. Севастополь, Донецкая и Луганская Народные Республики, Запорожская и Херсонская области. Данные изменения увеличили более чем в 2 раза промысловые территории России в Чёрном море и восстановили статус Азовского моря как внутреннего водоёма России.

Сырьевая база промысла Азово-Черноморского бассейна под влиянием глобальных климатических изменений (сокращение пресного стока, рост температуры) подвержена существенным изменениям. В настоящее время средняя солёность Азовского моря превысила рекордные уровни за столетний наблюдаемый период и достигла 15%. Это привело к всплеску численности медуз и гребневиков. Как следствие, происходит перестройка видового состава промысловых объектов. Отмечен рост численности промысловых беспозвоночных (рапана, креветки, мидии и др.), доля которых в улове значительно выросла. Одновременно снижаются запасы традиционных объектов азовского промысла: полупроходных рыб, азовской хамсы, тюльки, бычков и др. Рост солёности создал условия для увеличения запасов пиленгаса и азовской камбалы-калкан. В современных условиях снижается сырьевая база для тралового промысла в Азовском море и основным становится прибрежное рыболовство. Особо следует отметить положительную динамику состояния осетровых. Благодаря усилению контроля над акваторией Азовского моря и увеличению объёмов искусственного воспроизводства осетровых рыб отмечается устойчивая тенденция восстановления их запасов. Основным фактором, влияющим на состояние промысловых рыб в Чёрном море, является повышение температуры воды. Это ухудшает кормовую базу холодолюбивых видов рыб, прежде всего черноморского шпрота. Как следствие, происходит снижение биомассы. В то же время рост температуры позволил за последние годы увеличить запасы теплолюбивых видов – ставриды, барабули, кефалей. Кроме того, стала увеличиваться повторяемость подходов теплолюбивой (черноморской) хамсы, что также улучшает условия для судового промысла этой рыбы. Благодаря ограничениям промысла черноморской камбалы-калкан началось восстановление её запаса.

Рыболовство во внутренних водных объектах также представляет определённый интерес как дополнительный ресурс к морским видам биоресурсов, также и хорошей их доступности для широкого круга потребителей, проживающих в местах рек, озёр, водохранилищ. По результатам оценок, выполненных ВНИРО за период с 2014 по 2024 гг. наблюдался рост прогнозируемой величины вылова в пресноводных водоёмах,

резерв сырьевой базы в пресноводных водных объектах достигает не менее 100 тыс. тонн.

Новые горизонты развития рыбной отрасли России на основе проведения научных исследований и экспедиций в различных акваториях Мирового океана показывают, что прогноз добычи водных биоресурсов на горизонте 2036 года может достигать 5,9-6,5 млн тонн, а производство аквакультуры – в пределах одного млн тонн. Эти объёмы не наша фантастика, если вспомнить добычу водных биоресурсов в советский период, тогда объёмы превышали 11 млн тонн, основной объём добывался российскими рыбаками (рис. 9).

Но насколько достоверны такие долгосрочные прогнозы, это зависит от многих факторов, геополитических, финансовых, торгово-экономических, климатических, развития инноваций и технологий, которые находятся за пределами научных исследований. Для разработки долгосрочного прогноза необходимо будет разработать систему показателей для количественной оценки достижения указанных значений, по различным сценарным условиям, внутреннего и внешнего характера. Научные и технологические инновации должны быть положены в систему показателей и стать теми инструментами, которые позволят достигнуть поставленных целей.

И если сегодня сырьевая база водных биологических ресурсов сосредоточена в основном в исключительной экономической зоне Российской Федерации, то активизация добычи водных биоресурсов в исключительных экономических зонах иностранных государств, в конвенционных районах и открытой части

Мирового океана должна стать тем направлением развития рыбного промысла, который обеспечит прогнозируемый объём добычи на горизонте 2036 года.

Однако для этого необходимо проделать огромный объём работ с созданием современного рыбопромыслового флота и необходимой инфраструктуры для хранения и доставки готовой продукции из удалённых акваторий до потребителя. На современном этапе развития экономики необходимого объёма инвестиций для реализации данного проекта явно не достаёт [Колончин и др., 2022].

Значительные капитальные вложения требуются и в сектор товарной аквакультуры для решения целого ряда вопросов научного и технологического характера, организации отечественного производства рыбопосадочного материала, специализированных кормов, ветеринарных препаратов, современных видов технологического оборудования.

Развитие новых технологий выращивания аквакультуры с использованием замкнутых систем водоснабжения с более высокими показателями прироста биомассы и конверсии корма, исключение зависимости от погодных и географических условий вместо садкого выращивания станет новым этапом развития аквакультуры.

Подытоживая вышесказанное, отметим, что наступивший новый век потребует от всех государств решать две взаимоувязанные глобальные проблемы: первая – обеспечение постоянно растущего населения Земли продовольствием, вторая – сохранение биоразнообразия, которое необходимо для поддержания устойчивого состояния биосферы. Рациональ-



Рис. 9. Океанические промыслы СССР в 1970-80-е гг.

Fig. 9. Oceanic fisheries of the USSR in the 1970s and 80s.

ное природопользование, биоразнообразии, защита окружающей среды, это те проблемы, которые должны стать во главу угла всей проводимой государственной политики, не принимая своевременных мер по решению данных проблем, будущее развитие человечества столкнется с непреодолимыми барьерами. Сохранение биоразнообразия напрямую связано с состоянием экологии, именно эти два направления взаимоотношения живой и неживой природы, будут оказывать большое влияние на дальнейшее развитие человеческого сообщества.

Все вышеназванные проблемы в полной мере связаны с работой рыбной отрасли, сохранение среды обитания гидробионтов, природных экосистем и экологии – это ключевые приоритеты и вызовы современного мира. От их решения будет зависеть обеспечение будущих поколений рыбой и морепродуктами.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рыбохозяйственная наука, её роль и значение для решения указанных проблем неоспорима, она не только даёт возможность видеть современное состояние проблем для принятия мер государственного реагирования, но она смотрит за горизонт, делая научное предвидение развития событий. Это позволит уберечь государственные институты, отвечающие за развитие рыбной отрасли, от непродуманных шагов и действий, касающихся объёмов добычи водных биоресурсов, вопросов экологии, биоразнообразия и сохранения природных экосистем. Россия, обладая огромными запасами водных биоресурсов, имеет все возможности для преодоления современных вызовов, сильное государство будет залогом успешного решения указанных проблем.

## ЛИТЕРАТУРА

- Бизиков В.А., Болтнев Е.А., Петров Е.А., Петерфельд В.А., Черноок В.И. 2019. Экспериментальная авиасъёмка байкальской нерпы с использованием БПЛА большой дальности // Труды ВНИРО. Т. 175. С. 226-229.
- Дуленин А.А., Дуленина П.А., Коцюк Д.В., Свиридов В.В. 2021. Опыт и перспективы использования малых беспилотных летательных аппаратов в морских прибрежных биологических исследованиях // Труды ВНИРО. Т. 185. С. 134-151. DOI: 10.36038/2307-3497-2021-185-134-151
- Колончин К.В. 2023. Приоритетные направления развития рыбохозяйственного комплекса России. М.: Изд. ВНИРО. 486 с.
- Колончин К.В., Серегин С.Н., Брагинцев Ю.Н., Сысоев Г.В. 2024. Благополучие, бедность, продовольственные ресурсы – поиск выхода на новый уровень стандартов потребления // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. № 2. С. 13-23.
- Колончин К.В., Серегин С.Н., Беляев В.А., Тазетдинов Р.Р. 2024. Методология оценки запасов водных биоресурсов в морях Арктики // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. № 7. С. 3-14.
- Колончин К.В., Серегин С.Н., Гасанова Х.Н., Горбунова М.А. 2022. Инвестиции и потребление в контексте трансформации рынка рыбной продукции // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. № 7. С. 101-113.
- Котенёв Б.Н. 2019. Проблемы оптимизации морских рыбных промыслов. М. Изд-во ВНИРО. 200 с.
- Митин С.Г., Серегин С.Н., Сысоев Г.В. 2025. Пути преодоления проблем роста производства аквакультуры в России // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. № 1. С. 177-186
- Рыбохозяйственной науке России 130 лет. 2011. М.: Изд-во ВНИРО. 488 с.
- ФАО. 2024. Состояние мирового рыболовства и аквакультуры – 2024. «Голубая трансформация» в действии. Рим: ФАО. 232 с. DOI: 10.4060/cd0683ru
- Шафаревич И.П. 2014. Полное собрание сочинений в 6 т. Т. 2. / О.А. Платонов ред. М.: Институт русской цивилизации. 496 с.

## REFERENCES

- Bizikov V.A., Boltnev E.A., Petrov E.A., Peterfeld V.A., Chernook V.I. 2019. Experimental aerial survey of the Baikal seal using long-range UAVs // Trudy VNIRO. V. 175. P. 226-229. (In Russ.)
- Dulenin A.A., Dulenina P.A., Kotsyuk D.V., Sviridov V.V. 2021. Experience and perspectives of small unmanned aerial vehicles application for marine coastal biological studies // Trudy VNIRO. V. 185. P. 134-151. DOI: 10.36038/2307-3497-2021-185-134-151. (In Russ.)
- Kolonchin K.V. 2023. Priority directions of development of the Russian fisheries complex. Moscow: VNIRO Publish. 486 p. (In Russ.)
- Kolonchin K.V., Seregin S.N., Braginets Yu.N., Sysoev G.V. 2024. Welfare, poverty, food resources – the search for access to a new level of consumption standards // Economics, labor, management in agriculture. No. 2. P. 13-23. (In Russ.)
- Kolonchin K.V., Seregin S.N., Belyaev V.A., Tazetdinov R.R. 2024. Methodology for estimating stocks of aquatic biological resources in the Arctic seas // Economics, labor, management in agriculture. No. 7. P. 3-14. (In Russ.)
- Kolonchin K.V., Seregin S.N., Gasanova H.N., Gorbunova M.A. 2022. Investment and consumption in the context of the transformation of the fish market // Economics, labor, management in agriculture. No. 7. P. 101-113. (In Russ.)
- Kotenev B.N. 2019. Problems of optimization of marine fisheries. Moscow: VNIRO Publish. 200 p. (In Russ.)
- Mitin S.G., Seregin S.N., Sysoev G.V. 2025. Ways to overcome the problems of growing aquaculture production in Russia //

- Economics, labor, management in agriculture. No. 1. P. 177-186. (In Russ.).
- Fisheries science of Russia is 130 years old.* 2011. Moscow: VNIRO Publish. 488 p. (In Russ.).
- FAO.* 2024. The state of global fisheries and aquaculture – 2024. The «Blue Transformation» in action. Rome: FAO. 232 p. DOI: 10.4060/cd0683ru.
- Shafarevich I. R.* 2014. Complete works in 6 volumes, V. 2. / O.A. Platonov, ed., Moscow: Institute of Russian Civilization. 496 p. (In Russ.).

*Поступила в редакцию 18.09.2025 г.*

*Принята после рецензий 25.09.2025 г.*



УДК 595.384.12(265.546)

## Промысловые виды и их биология

# Исследования гребенчатой креветки в Татарском проливе. 1. Подходы к оценке возрастного состава уловов

А.И. Буюновский<sup>1</sup>, Д.Н. Юрьев<sup>2</sup>, Г.В. Жуковская<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»), Окружной проезд, 19, Москва, 105187

<sup>2</sup> Хабаровский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ХабаровскНИРО»), Амурский бульвар, 13а, г. Хабаровск, 680038

<sup>3</sup> Сахалинский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («СахНИРО»), ул. Комсомольская, 196, г. Южно-Сахалинск, 693023

E-mail: buyanovskiy@vniro.ru

SPIN-коды: А.И. Буюновский 9679-0320, Д.Н. Юрьев 3985-8796, Г.В. Жуковская 9671-5594

**Цель работы:** методический подход к установлению возрастного состава уловов гребенчатой креветки на основе априорного знания числа размерно-возрастных групп и их средних размеров.

**Материалом** послужили данные учётных траловых съёмок и научного мониторинга ловушками, полученные в 1997-2002 и 2010-2022 гг.

**В результате** разработана оригинальная методика, позволяющая устанавливать возрастной состав уловов гребенчатой креветки. После расчётов усреднённая по разным выборкам длина карапакса (ДК) самцов возраста 2-6 лет составляет 17,2; 22,4; 27,4; 31,8; 35,3 мм; интерсексов возраста 5-6 лет – 34,2; 37,9 мм. Для самок выделены 5 размерно-возрастных групп, каждая из которых, в силу инкубации икры в течение 15 месяцев и возможности смены пола в возрасте 4 или 5 лет, может содержать до 4 возрастных классов одного размера. Средняя ДК в группах 35,6; 38,9; 42,1; 44,1; 47,5 мм. Разделение групп на возрастные классы проводили с учётом наличия или отсутствия наружной икры осенью и степени её зрелости весной. Для дополнительного разделения предлагается использовать ретроспективный анализ, основанный на соотношении групп, содержащих только один возрастной класс. Более надёжны оценки по данным осенних учётных съёмок. Максимальная продолжительность жизни поколения оценивается в 14 лет.

**Практическое значение:** полученные результаты могут быть использованы при прогнозировании запасов гребенчатой креветки с помощью когортных моделей.

**Ключевые слова:** Гребенчатая креветка *Pandalus hypsinotus*, возрастной состав, жизненный цикл, продолжительность жизни.

## The humpback shrimp researches in the Tatar Strait. 1. Approaches to assessment of the catches age structure

Alexey I. Buyanovskiy<sup>1</sup>, Dmitriy N. Yuriev<sup>2</sup>, Galina V. Zhukovskaya<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), 19, Okruzhnoy proezd, Moscow, 105187, Russia

<sup>2</sup> Khabarovsk branch of «VNIRO» («KhabarovskNIRO»), 13 a, Amursky Boulevard, Khabarovsk, 680038, Russia

<sup>3</sup> Sakhalin branch of «VNIRO» («SakhNIRO»), 196, Komsomolskaya Str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693023, Russia

**The aim** of the research was to work out the methodic approach for assessment the age composition of the humpback shrimp catches which should be based on *a priori* knowledge of the number of size-age groups and their average sizes.

**Materials** were the data of trawl surveys and fisheries monitoring by traps obtained in 1997-2002 and 2010-2022.

**As results**, an original algorithm, which allows assess the age composition of the humpback shrimp catches, was worked out. After calculations, averaged over different samples carapace lengths (CL) of males aged 2-6 years were 17,2; 22,4; 27,4; 31,8; 35,3 mm; intersexes aged 5-6 years had CL 34,2; 37,9 mm. For females, 5 size-age groups were distinguished. Each group, due to the incubation of eggs for 15 months and the possibility of changing sex at the age of either 4 or 5 years, can include up to 4 age classes of the same size. The average CL in these groups were 35,6; 38,9; 42,1; 44,1; 47,5 mm. The groups were divided into age classes by taking into account the presence or absence of the eggs in the fall and the degree of their maturity in the spring. For additional division, it is proposed to use a retrospective analysis based on the ratio between groups including only one age class. More reliable estimates are based on the fall survey data. The maximum longevity of a generation is estimated at 14 years.

**Practical value:** The obtained results can be applied for the humpback shrimp stocks assessment with the help of cohort models.

**Keywords:** Humpback shrimp *Pandalus hypsinotus*, age composition, life cycle, longevity.

## ВВЕДЕНИЕ

Гребенчатая креветка *Pandalus hypsinotus* Brandt, 1851 – один из наиболее ценных видов промысловых ракообразных. В Татарском проливе её добывают с 1979 г., и, практически с начала промысла, ведутся научные исследования [Табунков, 1982; Буяновский и др., 1999, 2001; Соколов, 2000; Буяновский, 2001 а, б; 2004; Юрьев, Жуковская, 2021; Юрьев, 2024]. Полученные результаты создают предпосылки для установления возрастного состава, которому ранее было уделено недостаточно внимания.

Вследствие отсутствия регистрирующих структур, оценка возрастного состава, под которым мы подразумеваем соотношение численности отдельных возрастных классов, проводится исключительно по данным размерного ряда, «расщепляемого на смесь нормальных распределений». Согласно «центральной догме» Расмуссена одному распределению соответствует один возрастной класс [Иванов, 1978].

Ранее для этого широко использовалась группа методов, основанная на принципах «вероятностной бумаги» [Буяновский, 2001 б; Букин, Юрьев, 2006]. Сейчас их применяют редко, поскольку они страдают от неоднозначности получаемых результатов, известной как проблема конкурирующих решений [Gallucci et al., 1996; Михеев, 2011].

Чаще используют методы, основанные на подборе оптимальных значений средних размеров и их стандартных отклонений у заранее заданного числа возрастных классов. Число классов устанавливается на основе знания биологии вида. Методы оформлены в виде компьютерных программ, встроенных в соответствующие, общепризнанные, пакеты FISAT, PAST, или – в пакеты программной оболочки R: MixTools<sup>1</sup>, TropFishR<sup>2</sup> и др. Опыт их применения показал, что по результатам нередко выявляются возрастные классы с неестественно широкими размерными границами [Буяновский, 2021]. Чтобы этого избежать, на ширину размерных границ требуется ввести ограничения, для чего нужен соответствующий алгоритм, отсутствующий в вышеуказанных программах.

Другая группа проблем связана с особенностями жизненного цикла данного вида. Рост креветок происходит во время линек. После оплодотворения, весной самка приступает к вынашиванию икры на плеоподах, и этот период длится около 15 месяцев. Во время инкубации самки не линяют, и поэтому к весне следующего года в одной размерной группе могут оказаться

2 возрастных класса с одинаковыми характеристиками нормального распределения. Это противоречит «центральной догме» Расмуссена, но не отменяет задачу поиска решения для разделения возрастных групп одного размера.

Дополнительные сложности, которые, казалось бы, должны окончательно похоронить идею выделения возрастных когорт из размерного ряда, связаны с тем, что самцы могут менять пол в разном возрасте [Юрьев, 2024]. Соответственно, в отдельные сезоны, число возрастных классов в одном нормальном распределении может увеличиться до 4 и разделить их без дополнительной информации возможным не представляется.

Вместе с тем, есть и ряд благоприятных предпосылок для успешного решения задачи по установлению возрастного состава. Установлено число возрастных классов и проведена оценка темпов роста креветки [Соколов, 2000; Буяновский, 2001 б; Букин, Юрьев, 2006]. Разработана методика, позволяющая различать икру в начале и конце инкубационного периода. На другом объекте разработан алгоритм, позволяющий оценивать численность возрастного класса в заданных размерных границах [Буяновский и др., 2023 а].

Таким образом, цель настоящей работы можно определить как разработку методики оценки возрастного состава гребенчатой креветки с учётом неопределённости, связанной с особенностями её жизненного цикла.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В работе использованы материалы за период с 2010 по 2023 гг., собранные в Татарском проливе от 46°00' до 51°40' с. ш. и от 138°13' до 142°04' в. д. при проведении учётных траловых съёмок (табл. 1) и на ловушечном промысле гребенчатой креветки (табл. 2). В качестве орудий лова во все годы во время учётных съёмок использовался стандартный донный трал (ДТ/ТВ 27,1/24,4) с горизонтальным раскрытием 16 м, оснащённый 10-метровой мелкоячейной вставкой (10 мм от узла до узла), на промысле – конические ловушки японского образца, обтянутые делью с ячейей 18 мм, собранные в порядки обычно по 600-670 ловушек в каждом, прикрепленных к хребтине через 6,5 м. Приманкой служили несколько тушек размороженного минтая средних размеров.

Помимо данных, указанных в табл. 1-2 были привлечены материалы контрольного лова ловушками, собранные в 1997-2002 гг. в 17 рейсах вдоль обоих берегов пролива от 46°30' до 50°30' с. ш., выполненных в период с марта по декабрь [Буяновский, 2004].

<sup>1</sup> <http://CRAN.R-project.org/package=mixtools>

<sup>2</sup> <https://github.com/tokami/TropFishR>

**Таблица 1.** Количество, сроки и районы сбора материала по гребенчатой креветке при проведении учётных траловых съёмок в Татарском проливе

**Table 1.** Quantity, timing and areas of humpback shrimp sampling through trawl surveys in the Tatar Strait

Год	Судно	Районы работ*	Глубины, м	Сроки работ	Число учётных станций	Биоанализ, экз.
2010	НИС «Бухоро»	1	15-781	23.04-07.06	143	887
2011	НИС «Бухоро»	1	14-783	08.09-12.10	143	1254
2012	НИС «Бухоро»	1	15-784	22.09-27.10	142	2076
2013	НИС «Бухоро»	1	14-660	13.09-21.10	113	2180
2014	НИС «Бухоро»	1	15-754	15.09-20.10	138	2640
2015	НИС «Бухоро»	1, 2, 3	10-750	10.05-06.07	239	6506
2016	НИС «Бухоро»	1	15-724	22.09-27.10	140	3316
2018	НИС «Бухоро»	1, 3	13-654	03.06-17.06	80	1421
2020	НИС «Владимир Сафонов»	1, 2, 3	10-684	27.04-09.06	197	3939
2022	НИС «Владимир Сафонов» НИС «Дмитрий Песков»	1, 2, 3	27-611	29.04-29.05	148	2586

*Примечание.* \* – здесь и в табл. 2: 1 – подзона Приморье севернее 47°20' с. ш. (мыс Золотой); 2 – Западно-Сахалинская подзона; 3 – подзона Приморье от 46°00' до 47°20' с. ш.

**Таблица 2.** Количество, сроки и районы сбора материала по гребенчатой креветке при сборе проб ловушками в Татарском проливе

**Table 2.** Quantity, timing and areas of humpback shrimp sampling through surveys by traps in the Tatar Strait

Год	Судно	Районы работ	Глубины, м	Сроки работ	Анализированных уловов	Биоанализы, экз.
1997	«Сафил-1»	1, 2				
2011	СРТМ «Апостол Пётр»	1, 2	126-253	20.02-10.04	32	3710
2011	СРТМ «Апостол Пётр»	2	171-257	16.09-20.10	61	2413
2012	СРТМ «Залив Находка»	1, 2	168-318	26.03-19.04	18	2574
2013	СРТМ «Залив Находка»	1, 2	195-315	13.09-21.10	18	2085
2013	СРТМ «Апостол Пётр»	1, 2	148-225	02-025.09	59	3592
2014	СРТМ «Залив Находка»	1, 2	155-324	21.03-03.04	12	1628
2015	СРТМ «Залив Находка»	2	175-215	01-28.04	24	2904
2016	СРТМ «Апостол Пётр»	1, 2	130-360	29.02-11.04	66	15654
2016	СРТМ «Залив Находка»	2	152-207	03.06-17.06	16	1872
2017	СРТМ «Залив Находка»	2	162-189	02-23.04	22	3890
2019	СРТМ «Залив Находка»	2	139-175	01.04-03.05	30	4050
2019	СРТМ «Залив Находка»	1, 2	132-227	01.04-07.05	32	4622
2020	СРТМ «Залив Находка»	2	102-180	02-23.04	21	3301
2021	СРТМ «Залив Находка»	1, 2	135-208	27.03-20.04	20	2645
2022	СРТМ «Залив Находка»	1, 2	107-275	26.03-17.05	37	5970
2023	СРТМ «Залив Находка»	1, 2	117-254	26.02-19.04	56	4570

Биологический анализ креветки проводили по стандартным методикам [Иванов, 2004; Низяев и др., 2006]. Половую принадлежность определяли по форме эндоподитов первой пары плеопод и состоянию стернальных шипов. Неполовозрелых особей и самцов анализировали вместе, самок – с разделением на разновозрастные группы, условно нечётных и чётных лет, а именно, особей без яиц и волосков для их кре-

пления на плеоподах – группа I (включала и интерсексов) – и самок, вынашивающих яйца – группа II [детали см. Юрьев, Жуковская, 2021]. Линяющие особи из анализа исключались. В 2010-2023 гг. было проанализировано более 92 тыс. экз.; в 1997-2002 гг. – свыше 95 тыс. экз.

В качестве базового параметра взята длина карапакса (ДК), которую измеряли с точностью до 0,1 мм

электронным (в 2010-2023 гг.) или простым (1997-2002 гг.) штангенциркулем.

Для оценки возрастного состава использовали 2 метода. Первый выполнялся в программной оболочке FISAT II – FAO-ICLARM Stock Assessment Tool<sup>3</sup>, куда данные размерного ряда вводили преобразованными после сглаживания 16-членной скользящей средней [Буяновский, 2004]. В соответствии с методическими рекомендациями, после ввода данных, первоначальное разделение на классы выполняли графическим методом, используя вкладку «Bhattacharaya's method» [подробная последовательность с иллюстрациями – см. Буяновский, Войдаков, 2011]. Во избежание возникновения конкурирующих решений, для самцов старались выделять не более 5 классов, для интерсексов – не более 2, для самок – не более 5.

Далее, полученные значения средних размеров, стандартных отклонений и численности классов в выборке, копировали и переносили во вкладку «NORMSEP», где указанные параметры автоматически корректируются с помощью алгоритма SIMPLEX. В случаях возникновения конкурирующих решений (разное число предварительно выделенных классов) выбирали, то, где индексы перекрытия между выделенными классами были минимальными.

Второй метод, основанный на априорно заданных средних размерах, является оригинальной разработкой, и он будет подробнее изложен в разделе «Результаты».

При всех оценках мы придерживались схемы жизненного цикла, которая была установлена ранее [Юрьев, Жуковская, 2021]. Согласно ей:

- массовая линька самцов, сопровождающаяся изменением средних размеров возрастных классов, происходит зимой, в ноябре-декабре;
- смена пола происходит летом, в июле;
- нерест, под которым подразумевается откладка оплодотворённой икры на плеоподы, происходит в марте, а выклев личинок после инкубации – в апреле-мае;
- после выклева личинок у самок происходит линька, сопровождающаяся ростом и началом активной фазы гаметогенеза;
- гаметогенез, проявляющийся как формирование хорошо заметных гонад под карапаксом, начинается в июле и заканчивается нерестом (см. выше).
- С учётом вышеизложенной схемы, при формировании входных данных для алгоритма расчётов, ка-

лендарный год был разделён на два периода – весенний (февраль-июнь) и осенний (август-декабрь).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

*Определения и термины.* Прежде чем излагать результаты расчётов этих соотношений необходимо дать несколько определений, которым мы будем строго следовать в дальнейшем.

- **Размерный класс** – совокупность особей, размеры которых укладываются в элементарный выбранный пользователем интервал для построения гистограммы частот размерного ряда; в данной работе принят равным 1 мм; название каждого класса соответствует целому числу ДК (15 мм, 34 мм и т. д.).

- **Размерная группа** – совокупность особей, размеры которых соответствуют нескольким последовательно расположенным размерным классам; название группы ограничивается крайними значениями диапазона (например – 35-40 мм).

- **Возрастной класс** – совокупность особей определённого возраста. Представители разных возрастных классов могут входить в одну размерную группу. В соответствии с жизненным циклом, возраст креветок, собранных в весенний период (см. выше), обозначался соответствующим целым числом, а в осенний – им же со знаком «+».

- **Размерно-возрастная группа** – размерная группа, характеризующаяся нормальным распределением частот размерных классов, где модальный размерный класс соответствует среднему размеру особи определённого возраста. Ранее её называли мономодальной группой [Буяновский, Войдаков, 2011]. Обозначается средним (модальным) значением ДК: 31,8 мм, 42,1 мм и т. д. У самцов и интерсексов размерно-возрастная группа тождественна возрастному классу, у самок она содержит несколько возрастных классов.

- **Численность** – число экземпляров в выборке или – в её части (возрастном классе, размерной группе, размерно-возрастной группе).

- **Размерные границы возрастного класса или возрастной группы** – диапазон значений ДК, внутри которого находится не менее 95% численности класса или группы.

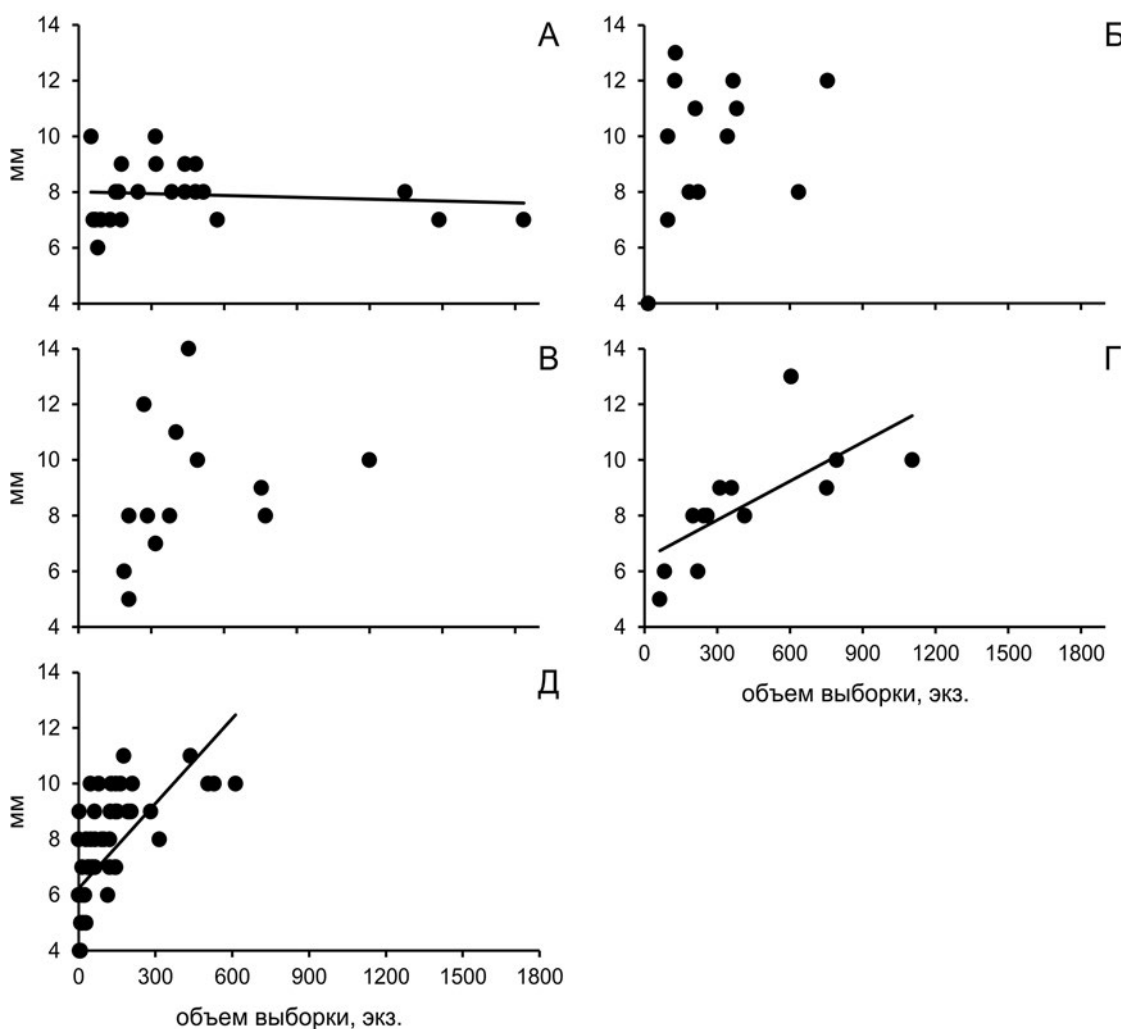
*Возрастной состав методом NORMSEP.* Во всех выборках, по данным траловой съёмки, было выделено от 3 до 5 классов самцов, от 1 до 2 классов интерсексов и от 2 до 5 классов самок. Подозрения в корректности метода возникли при оценке ширины размерных границ выделенных классов. В качестве контроля были взяты эмпирические данные по интерсексам за 1997-2002 гг., собранные или одним из авторов публикации (А.Б.), или квалифицированными

<sup>3</sup> Gayanilo F.C. Jr, Sparre P., Pauly D. 2005. FAO-ICLARM stock assessment tools II. User's guide. Computerized Information Series. Fisheries 2005. № 8. Rome. URL: <http://www.fao.org/docrep/009/y5997e/y5997e00.htm>

ми научными сотрудниками с промысла [Буяновский, 2004]. Для всех размерных рядов данной категории было характерно мономодальное распределение, то есть каждая из них (в соответствии с «центральной догмой Расмуссена», см. выше) была представлена только одним возрастным классом. Для анализа брали 95% особей, группирующихся вокруг модальных значений. Результаты показали, что объём выборки не влиял на ширину размерных границ, составляющую от 6 до 9 мм (рис. 1 А). Поскольку для всех 12 выборок объёмом свыше 320 экз. ширина размерных границ составляла 7-9 мм, то можно предположить, что как на более широкие (в 2 из 25 выборок), так и на более узкие (в 1 из 25) диапазоны повлиял объём выборки.

Соответственно величину 9 мм можно считать реальной размерной границей возрастного класса для интерсексов, возраст которых оценивается в 6+; размерные границы шириной 6 и 10 мм, скорее всего, были артефактом, связанным с малым объёмом выборки [Буяновский и др., 2023 б].

Если проанализировать выборки, полученные методом NORMSEP, то на примере самцов возраста 3+ – 5+ (рис. 1 Б-Г видно, что амплитуда варьирования размерных границ значительно больше, чем у интерсексов (согласно эмпирическим данным), что маловероятно, поскольку по мере роста ширина размерных границ возрастного класса должна увеличиваться вследствие варьирования величины прироста. В этой



**Рис. 1.** Зависимость размерных границ (ДК, мм) возрастного класса от объёма выборки: А – эмпирические данные: интерсексы из ловушечных проб 1997-2002 гг., зависимость отсутствует; Б-Д – расчётные данные (метод NORMSEP) по материалам из траловых проб 2010-2022 гг.: самцы возраста 3+ (Б), 4+ (В) – в некоторых выборках размерные границы шире ожидаемых; самцы возраста 5+ (Г) и самки (Д) – регрессия значима ( $p < 0,01$ )

**Fig. 1.** Dependence of size borders of the age class (CL, mm) on the sample size: А – observed data: intersexes from trap samples of 1997-2002, no dependence; Б-Д – calculated data (NORMSEP method) from trawl samples of 2010-2022; males aged 3+ (Б), 4+ (В) – the size borders are wider than those expected; males aged 5+ (Г) and females (Д) – regression significant ( $p < 0,01$ ).

ситуации уменьшение ширины размерных границ возможно только вследствие селективной смертности крайних размерных групп, но сведений о её наличии пока нет.

Для самцов возраста 5+ и самок отмечена зависимость ширины размерных границ от объёма выборки (рис. 1 Г-Д). Более того, вследствие сравнительно небольших объёмов выборок, ширина размерных границ размерно-возрастных групп самок нередко была меньше, чем у интерсексов (рис. 1А). Это маловероятно, так как самки старше, и изменчивость величины прироста должна обуславливать более широкие размерные границы (см. выше).

Далее, при использовании метода NORMSEP среди самок нередко выделялись классы со средней ДК 31-32 мм. Их реальность маловероятна, поскольку среди предшествующих самкам интерсексов такие классы выделены не были. Объёмы выборок данных возрастных классов составляли 3-8 экз., а доля среди самок не превышала 5%. Скорее всего, данный класс является следствием «шума», связанного с ошибками измерения. Все вышесказанное относится и к самкам с развивающимися гонадами ДК менее 36,3 мм (см. ниже).

Учитывая все вышесказанное, мы пришли к заключению, что сам по себе метод NORMSEP не вполне справляется с поставленной нами задачей. Поэтому было принято решение, не отказываясь от применения данного метода, разработать новый подход, основанный на предположении, что число возрастных классов постоянно; их средние размеры задаются априор-

но; размерные границы соответствующего возрастного класса (для самок – размерно-возрастной группы) в разных выборках сохраняются неизменными.

Ранее, при работе с другими объектами, мы получали подобные данные из других независимых источников: например – по результатам повторного отлова меченых крабов. Здесь у нас такой информации нет, и поэтому единственным источником могут быть данные из траловых и ловушечных проб.

*Формирование входных данных для нового подхода к определению возрастного состава.* Опираясь на ранее выполненный анализ [Юрьев, 2024], что возраст особей ДК 9-14 мм весной равен 1 году, а осенью – 1+, мы посчитали, что возраст первого, наиболее часто регистрируемого в уловах класса ДК свыше 14 мм равен 2 годам весной и 2+ осенью. Если затем расположить все средние размеры, выявленные методом NORMSEP (см. выше), в возрастающем порядке, то по «разрывам» среди самцов можно выделить ещё 5 классов (рис. 2 А), о которых ранее неоднократно упоминалось. Их средние полностью соответствуют диапазонам значений, которые ранее указывали мы и С.Д. Букин. Данные ловушечных уловов нередко оказываются смещёнными, поэтому для установления границ между классами мы их не использовали, но при расчёте средних размеров мы использовали те значения из данных 2011-2023 гг., которые находились внутри границ, обозначенных на рис. 2 А.

Аналогично рассуждая, было выделено 5 размерно-возрастных групп для самок (рис. 2 Б). При

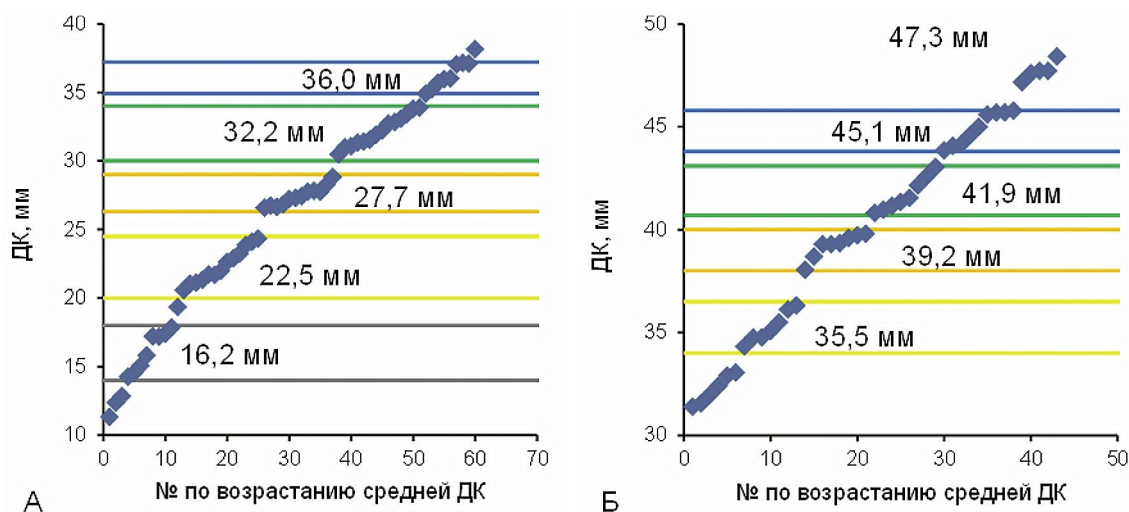


Рис. 2. Средние размеры (А) самцов и (Б) самок из траловых проб, установленные методом NORMSEP. Цветные границы разделяют возрастные классы у самцов и размерно-возрастные группы у самок, числа внутри границ – средние размеры объединённых классов или групп

Fig. 2. Mean sizes of (A) males and (B) females from trawl samples determined by the NORMSEP method. Colored boundaries separate age classes for males and size-age groups for females, numbers inside the boundaries are the generalized mean sizes of classes or groups

расчётах самок с развивающимися гонадами и самок с наружной икрой относили к разным выборкам.

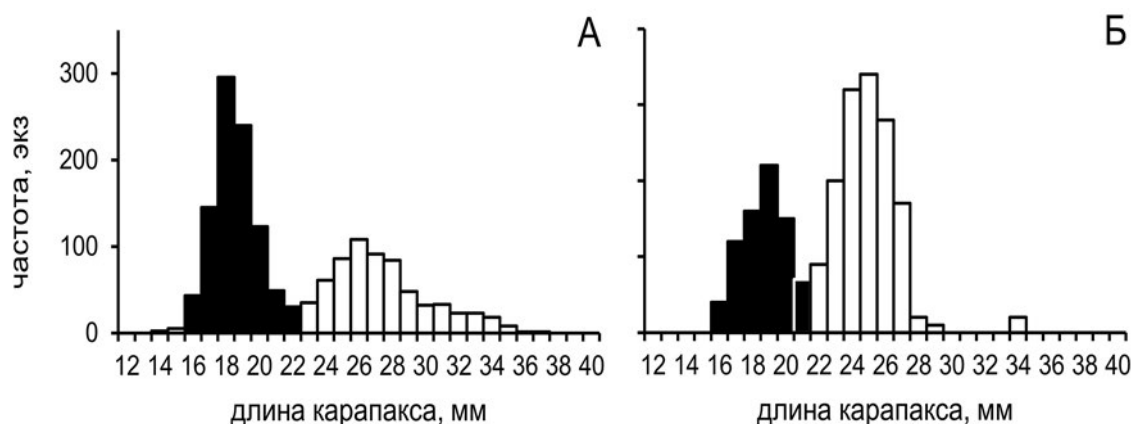
Для интерсексов методом NORMSEP было выделено 2 класса со средними размерами 34,0 и 38,1 мм. В соответствии с принятой схемой их возраст равен 5+ и 6+ соответственно.

После выделения возрастных классов у самцов и интерсексов и размерно-возрастных групп у самок, встал вопрос о ширине размерных границ (см. выше) каждого класса или группы. Так же, как и ранее [Буяновский и др., 2023 а] допускалось, что с возрастом ширина границ не уменьшается вследствие варьирования величины годового прироста. За основу было взято значение 9 мм, выведенное для интерсексов возраста 6+ (рис. 1 А). Анализ отдельных проб, собранных в 1997-2002 гг. позволил выявить границы возрастного класса 2+ и принять значения 7 мм (рис. 3). Аналогичным образом для класса 3+ было выявлено значение 8 мм, а для классов 4+ – 6+, так же, как и для интерсексов, было принято значение 9 мм.<sup>4</sup>

Поскольку объёмы выборок не позволяют идентифицировать выбросы, то в качестве границ допустимой изменчивости средних размеров мы использовали весь диапазон расчётных значений, вычисленных методом NORMSEP (рис. 2). Итоговые результаты обобщены в табл. 3. В качестве стартовых, априорно заданных, значений средней ДК, использованы средние, вычисленные по разным выборкам для самцов (рис. 2 А), интерсексов и самок (рис. 2 Б).

*Процедура определения возрастного состава.* В целом, для установления возрастного состава применяли ту же процедуру, что и ранее для камчатского краба [Буяновский и др., 2023 а]. Основное усовершенствование заключалось в «подгонке» средних размеров в рамках установленного диапазона допустимой изменчивости (табл. 3). После создания шаблона процедура выполнялась в 6 этапов.

*Создание шаблона.* На листе «MS-Excel» выбираются ячейки, куда заносятся стартовые значения: средних размеров (табл. 3), соответствующих им стан-



**Рис. 3.** Примеры выявления размерных границ возрастного класса 2+ (выделены черной заливкой). Пробы собраны из ловушек у Западного Сахалина в районе 48°10'–48°40' с. ш. в декабре 1999 (А) и 2000 (Б) гг.

**Fig. 3.** Examples of identification of size borders of the age class 2+ (highlighted in black). Samples were collected by traps off Western Sakhalin in the region of 48°10'–48°40' N in December 1999 (A) and 2000 (B)

Для самок в размерно-возрастной группе 35,5 мм размерные границы, также, как и интерсексов, были приняты равными 9 мм. Для остальных групп, с учётом варьирования прироста, были приняты значения 10, 11 и 12 мм соответственно, которые охватывали практически весь регистрируемый диапазон размеров самок.

Как следует из рис. 3, в разные годы и в разных районах оценочные средние размеры могут разли-

дартных отклонений, численности. Также для каждой размерно-возрастной группы в отдельных ячейках генерируют частоты нормального распределения с помощью встроенной функции:

$$\text{НОРМ.РАСП}([\text{PK}];[\text{Среднее}];[\text{СтО}]; \text{ЛОЖЬ}) * [\text{Выб}], \quad (1)$$

где [PK] – размерный класс от 5 до 55 мм, номер класса указывается в отдельной ячейке; [Среднее] – средняя ДК определённой размерно-возрастной группы (табл. 3); [СтО] – стандартное отклонение в той же группе; [Выб] – приведённое значение численности (размерно-возрастной группы, экз.), занесённое в соответствующую ячейку.

<sup>4</sup> Gayanilo F. C. Jr, Sparre P., Pauly D. 2005. FAO-ICLARM stock assessment tools II. User's guide. Computerized Information Series. Fisheries 2005. № 8. Rome. URL: <http://www.fao.org/docrep/009/y5997e/y5997e00.htm>

**Таблица 3.** Входные параметры для оценки возраста самцов, интерсексов и самок гребенчатой креветки  
**Table 3.** Input parameters for age estimation of males, intersexes and females of humpback shrimp

Возраст, линек <sup>1</sup>	Пол	Средняя ДК, мм	Ширина размерных границ возрастного класса или размерно-возрастной группы, мм	Диапазон допустимой изменчивости средней ДК, мм (объем выборки <sup>2</sup> )
2	Самцы	16,2	7	14,3-17,8 (8)
3	Самцы	22,5	8	20,6-24,9 (13)
4	Самцы	27,7	9	26,6-28,9 (12)
5	Самцы	32,2	9	30,5-34,0 (14)
5	Интерсексы	34,0	9	33,4-34,9 (4)
6	Самцы	36,0	9	34,9-36,8 (8)
6	Интерсексы	38,1	9	37,7-38,5 (4)
6	Самки	35,5	9	34,3-36,3 (7)
7	Самки	39,2	10	38,1-39,8 (17)
8	Самки	41,9	11	40,8-43,1 (9)
9	Самки	45,1	12	43,9-45,8 (4)
10	Самки	47,3	12	47,2-48,4 (2)

Примечание. <sup>1</sup> – За линьку № 1 принята та, после которой возраст молоди становится равным 1 году; линька № 2 происходит через год, и т. д., в соответствии со схемой жизненного цикла [Юрьев, Жуковская, 2021]; <sup>2</sup> – число размерно-возрастных групп, для которых определяли средние размеры.

Частоты, сгенерированные для каждой размерно-возрастной группы, суммируют в каждом размерном классе, и тем самым формируют ряд расчётных частот (рис. 4 А: ряд «Р»). В соседних ячейках, соответственно каждому размерному классу, располагают эмпирические частоты. Для каждого размерного класса вычисляют квадрат разности между эмпирической и расчётной частотой. Сумму квадратов разностей заносят в отдельную ячейку и в дальнейшем используют как целевую функцию. Оптимизацию целевой функции на всех этапах выполняли, используя надстройку «Поиск решения» и встроенный в неё метод обобщённого градиентного поиска [Lasdon et al., 1978].<sup>5</sup>

**1. Ввод стартовых значений численности.** Из эмпирических данных выбираются размерные группы, находящиеся вокруг среднего с шагом 1 мм. Например, для возраста 2 это – 15-17 мм, возраста 8-40-43 мм (табл. 3) и т. д. Частоты, соответствующие выбранным размерным группам, приводятся ко всему объёму эмпирической выборки и заводятся в шаблон, в ячейки, связанные с генерированием частот по формуле (1) ([Выб]). Стандартные отклонения на этом этапе задаются произвольно.

**2. Первичный подбор стандартных отклонений** (рис. 4 Б). Путём изменения значений в ячейках стандартных отклонений (надстройка «Поиск решения»,

метод «Поиск решения нелинейных задач методом ОПГ») добиваются, чтобы за пределами размерных границ каждого возрастного класса сосредоточивалось 5% его численности при значении последней менее 100, и 5 экз. – при значении более 100 [Буяновский и др., 2023 а].

**3. Подбор значений численности.** Изменяя ячейки с численностью, добиваются минимизации целевой функции (рис. 4 В)<sup>6</sup>.

**4. Подбор средних размеров.** Во всплывающее окно «Поиск решения» вводятся ограничения для каждого среднего размера в соответствии с допустимым диапазоном его изменчивости (табл. 3). После этого, изменяя ячейки со средними размерами, добиваются минимизации целевой функции (рис. 4 Г).

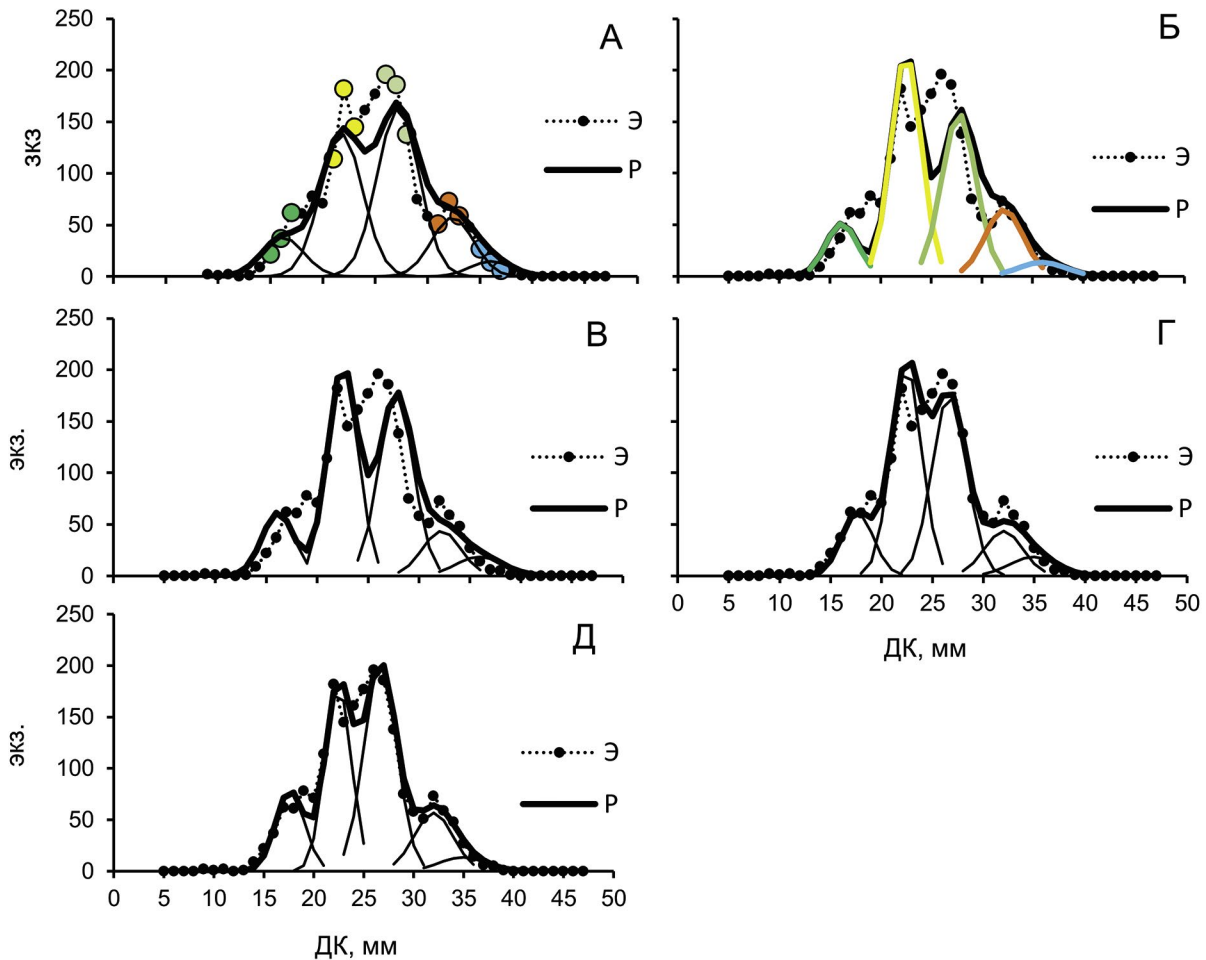
**5. Вторичный подбор стандартных отклонений.** Процедура, описанная в п. 2 повторяется с новым набором средних размеров. Поскольку размерные границы возрастных классов, оставаясь неизменными по ширине, могут после изменения средних размеров сдвигаться вправо или влево, то при пересчёте стандартных отклонений это надо учитывать.

**6. Вторичный подбор численности.** Процедура, описанная в п. 3 повторяется с новым набором средних размеров и стандартных отклонений.

**Последующая доводка.** Процедуры, описанные в п. 5-6, повторяются до тех пор, пока стандартные от-

<sup>5</sup> На вкладке MS Excel «Поиск решения» читается как «Поиск решения нелинейных задач методом ОПГ»

<sup>6</sup> Теоретически п. 2-3 можно объединить, но на практике при одновременном изменении размеров и численности результаты были значительно хуже.



**Рис. 4.** Алгоритм оценки возрастного состава на примере уловов самцов гребенчатой креветки тралом в 2020 г. в подзоне Приморье (объяснение в тексте): А – распределение расчётных частот (P) после ввода стартовых значений численности (выделены цветными кружками, каждый цвет соответствует определённому возрастному классу) из всего диапазона эмпирических частот (Э), стандартные отклонения взяты произвольно и во всех возрастных классах равны 2; Б – подбор стандартных отклонений, за пределами размерных границ каждого возрастного класса (выделены соответствующим цветом) сосредоточено или 5% его численности, или – 5 экз (в зависимости от общей численности); В – подбор численности, при которой целевая функция минимальна; Г – подбор средних размеров в рамках ограничений, накладываемых данными таблицы 3; Д – окончательная траектория ряда расчётных значений после 2 циклов повторной доводки (объяснённая дисперсия – 96%).

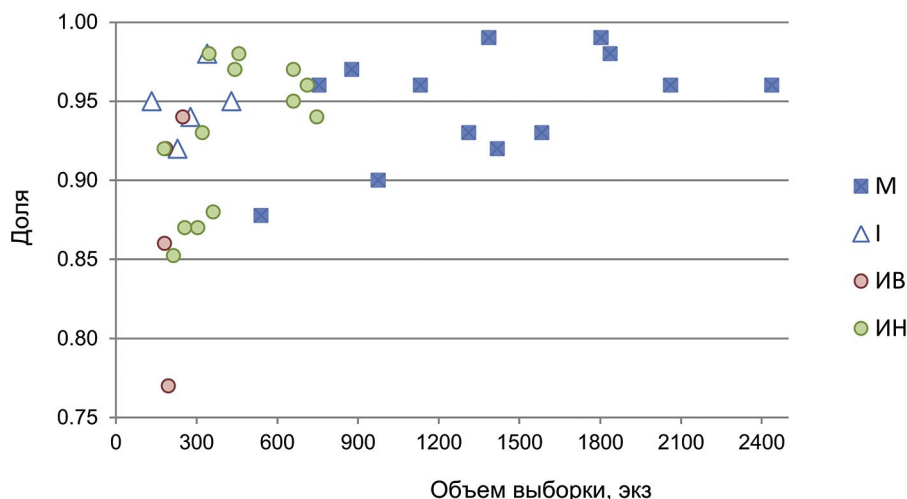
**Fig. 4.** Algorithm for estimating the age composition on example of males humpback shrimp trawl catches in 2020 in the Primorye subzone (explanation in the text). A – distribution of calculated frequencies (P) after entering the starting abundance values (highlighted by colored circles, each color corresponds to a certain age class) from the entire range of empirical frequencies (E), standard deviations are taken arbitrarily and are equal to 2 in all age classes; B – selection of standard deviations outside the size borders of each age class (highlighted by the corresponding color): either 5% of its abundance or 5 specimens (depending on the total abundance); C – selection of the abundance at which the objective function is minimal; G – selection of average sizes within the constraints imposed by the data in Table 3; D – final trajectory of the row of calculated values after 2 cycles of repeated adjustments (explained variance is 96%).

клонения не будут ограничивать численность в размерных границах, указанных в табл. 3. Как правило, для этого (с учётом округлений целых чисел) требуются 2-3 цикла (рис. 4 Д). Если после процедуры, описанной в п. 6, численность возрастного класса стала отличной от 0, то повтор рекомендуется начать не с п. 5, а с п. 4.

После каждой оценки выполняли диагностику, рассчитывая долю объяснённой дисперсии по формуле:

$$R^2 = 1 - (S_{\text{ост}}^2 / S_{\text{общ}}^2), \quad (2)$$

где  $S_{\text{ост}}^2$  – сумма квадратов отклонений эмпирических частот от расчётных,  $S_{\text{общ}}^2$  – полная сумма квадратов:



**Рис. 5.** Зависимость доли объяснённой дисперсии от объёма выборки в разных функциональных группах гребенчатой креветки: М – самцы; I – интерсексы; IV – самки с гонадами; NI – самки с икрой. Данные траловых съёмов 2010-2022 гг.  
**Fig. 5.** Dependence of explained variance rate on the sample size in different functional groups of comb shrimp: M – males, I – intersexes; IV – females with gonads; NI – females with eggs. Data from trawl surveys in 2010-2022

сумма квадратов отклонений эмпирических частот от среднего значения, вычисленного для ненулевых размерных классов.

Для большинства выборок доля объяснённой дисперсии была выше 0,9 (рис. 5), что в условиях достаточно высокой зашумлённости измерений ДК можно считать удовлетворительным. Худшие результаты для самок связаны, скорее всего, с малым объёмом выборки, при котором воздействие случайной ошибки измерения становится более заметным.

*Влияние допустимой изменчивости средних размеров.* Одно из усовершенствований предложенной методики заключалось в допустимости изменения средних размеров по сравнению со стартовыми значениями. Эффективность данного нововведения можно оценить по приращению объяснённой дисперсии. Попарное сравнение данных из траловых проб показало, что для самцов доля объяснённой дисперсии увеличилась в среднем ( $\pm 95\%$  доверительный интервал) на  $9 \pm 3\%$  (при варьировании в разных выборках от 1 до 18%); для интерсексов – на  $4 \pm 3\%$  (0-8%), для самок – на  $3 \pm 2\%$  (0-25%). Таким образом, при допустимой изменчивости априорно заданных средних размеров, точность оценок повышается, причём для отдельных выборок – весьма значительно.

Итоговые (оптимизированные в соответствии с методикой, описанной выше) значения средних размеров, усреднённые по разным выборкам, показали незначительное отличие от априорно заданных (стартовых) значений (табл. 4). Вместе с тем, различия между выборками, отражающие пространственно-временную изменчивость возрастного состава, мог-

ли быть заметными, и этот вопрос будет рассмотрен в одной из последующих публикаций. Последняя 5я размерно-возрастная группа (самок) отмечена в 6 из 26 выборок, а её численность никогда не превышала 5%; нельзя исключить, что её средние размеры несколько завышены.

В целом, применение обоих методов даёт сходные результаты при оценке средних размеров возрастных классов или размерно-возрастных групп. Однако, вследствие отсутствия ограничений на размерные границы классов или групп в методе NORMSEP, различия в оценках численности могут быть очень заметны. Поскольку постоянство размерных границ, скорее всего, существует (рис. 1 А), то оригинальный метод оценки возрастного состава представляется нам более предпочтительным.

*Возрастные классы самок.* В отличие от самцов, где размерно-возрастные группы идентичны возрастным классам, у самок, вследствие особенностей жизненного цикла, такое соответствие неоднозначно. Во-первых, инкубационный период длится около 15 месяцев, и во время инкубации самки не линяют. Вследствие этого, весной в уловах будут встречаться как особи, только приступившие к инкубации, так и те, которые заканчивают вынашивание яиц. Размерный состав их будет одинаковым, а разница в возрасте составит 1 год. В осенний период эти категории хорошо отличаются: самки, которые весной начнут инкубацию, будут без икры, с хорошо видимыми под карапаксом гонадами; самки, которые следующей весной закончат инкубацию, осенью будут носить икру на плеоподах. В весенний период таких различий не бу-

**Таблица 4.** Сравнение стартовых и итоговых (оптимизированных) средних значений ДК ( $\pm 95\%$  доверительный интервал) гребенчатой креветки в разных возрастных классах и/или размерно-возрастных группах по данным из траловых проб

**Table 4.** Comparison initial and final (optimized) mean carapace lengths ( $\pm 95\%$  CL) in different age classes and/or size-age groups of the humpback shrimp based on data from trawl samples

Пол	№ класса, группы	Метод NORMSEP		Оригинальный метод	
		Стартовые значения, мм		Итоговые значения, мм	
		Усреднённое	min–max	Усреднённое,	min–max, мм
Самцы	1	16,2 $\pm$ 1,0	14,3-17,8	17,2 $\pm$ 0,2	16,7-17,3
	2	22,5 $\pm$ 0,7	20,6-24,9	22,4 $\pm$ 0,4	20,9-23,5
	3	27,7 $\pm$ 0,4	26,6-28,9	27,4 $\pm$ 0,2	26,8-28,4
	4	32,2 $\pm$ 0,6	30,5-34,0	31,8 $\pm$ 0,2	31,5-32,3
	5	36,0 $\pm$ 0,6	34,9-36,8	35,3 $\pm$ 0,3	34,8-35,8
Интерсексы	1	34,0 $\pm$ 0,9	33,4-34,9	34,2 $\pm$ 0,8	33,4-34,9
	2	38,2 $\pm$ 0,3	37,7-39,5	37,9 $\pm$ 0,2	33,4-34,9
Самки	1	35,5 $\pm$ 0,5	34,3-36,3	35,6 $\pm$ 0,4	34,5-36,3
	2	39,2 $\pm$ 0,4	38,1-39,8	38,9 $\pm$ 0,1	38,1-39,8
	3	41,9 $\pm$ 0,6	40,8-43,1	42,1 $\pm$ 0,4	40,8-43,1
	4	45,1 $\pm$ 0,5	43,9-45,8	44,1 $\pm$ 0,2	43,9-44,6
	5	47,3 $\pm$ 0,4	47,2-48,4	47,5 $\pm$ 0,2	47,2-48,4

дет видно, и поэтому единственный способ разделения заключается в анализе состояния икры: у особей, приступающих к инкубации, икра будет зелёного цвета, без хорошо видных эмбрионов («глазков»). Всех остальных самок, включая тех, которые уже выпустили личинок, следует относить представителям старшего возрастного класса. При установлении возрастного состава эти две группы мы анализировали отдельно.

К сожалению, для окончательного выявления возрастных классов такого разделения оказалось недостаточно, так как существует проблема смены пола в разном возрасте, наиболее вероятный сценарий которой приводится в табл. 5<sup>7</sup>. Согласно ему, практически любая категория самок, даже с учётом состояния икры, может относиться к двум возрастам. Соответственно, при одновременном существовании нескольких поколений, разделение этих категорий по визуальным характеристикам становится невозможным. В этой ситуации единственным методом разделения остаётся ретроспективный анализ, при котором допускается, что соотношение между категориями, установленное в какой-либо год, сохраняется и в дальнейшем. В качестве «отправной точки» осени можно использовать соотношение между интерсексами возраста 6+ и самками с гонадами возраста 7+, от-

носящимися к размерно-возрастной группе 38,9 мм<sup>8</sup> (здесь и ниже, включая табл. 5, приводятся итоговые значения ДК из табл. 4). Для весны можно взять соотношение между самцами возраста 6 лет и самками возраста 7 лет из группы 35,6 мм, у которых икра с «глазками» или личинки выпущены (табл. 5: стадия «Г»). При этом следует учитывать, что осенью интерсексами становятся не все самцы данного возраста: около 11% (по среднемноголетним данным) особей сохраняют половую принадлежность, и поэтому из соотношения для ретроспективных оценок их надо исключить, сделав соответствующую поправку.

После выполнения ретроспективных оценок можно получить среднемноголетние отношения между численностью одних и тех же категорий разного возраста и использовать их для разделения этих категорий в те годы, когда ретроспективные оценки выполнить невозможно: как правило, это – начальные годы.

Из вышесказанного следует, что для более надёжного установления возрастного состава учётные съёмки лучше выполнять в осенний период, когда не надо вносить дополнительных поправок, увеличивающих неопределённость в оценках.

<sup>7</sup> Мы пробовали несколько других вариантов, но при этом возникали или «лишние» размерно-возрастные группы, или в динамике возрастного состава появлялись необъяснимые всплески и снижения численности отдельных классов.

<sup>8</sup> Может показаться более логичным взять соотношение между особями одного возраста 5+ - интерсексами и самками с наружной икрой ДК 35,5 мм. Но численность последних в исследуемый период была крайне мала, и это сильно увеличивало стандартную ошибку отношения (дробли).

**Таблица 5.** Онтогенетический цикл поколения гребенчатой креветки, начиная с возраста 2 года с возможными альтернативами

**Table 5.** Ontogenetic cycle of the humpback shrimp generation, starting from the age of 2 years with possible alternatives

№ года	Сезон	Возраст, лет	Категория: №, пол (стадия самок <sup>1</sup> ) / средняя ДК <sup>2</sup> , мм		
			1	2	3
1	весна	2		Самцы / 17,2	
	осень	2+			
2	весна	3		Самцы / 22,4	
	осень	3+			
3	весна	4		Самцы / 27,4	
	осень	4+			
4	весна	5		Самцы / 31,8	
	осень	5+	Самцы / 31,8		Интерсексы / 34,2
5	весна	6		Самцы / 35,3	Самки (Н) / 35,6
	осень	6+	Самцы / 35,3	Интерсексы / 37,9	Самки (И) / 35,6
6	весна	7	–	Самки (Н) / 38,9	Самки (Г) / 35,6
	осень	7+	–	Самки (И) / 38,9	Самки (В) / 38,9
7	весна	8	–	Самки (Г) / 38,9	Самки (Н) / 38,9
	осень	8+	–	Самки (В) / 42,1	Самки (И) / 38,9
8	весна	9	–	Самки (Н) / 42,1	Самки (Г) / 38,9
	осень	9+	–	Самки (И) / 42,1	Самки (В) / 42,1
9	весна	10	–	Самки (Г) / 42,1	Самки (Н) / 42,1
	осень	10+	–	Самки (В) / 44,1	Самки (И) / 42,1
10	весна	11	–	Самки (Н) / 44,1	Самки (Г) / 42,1
	осень	11+	–	Самки (И) / 44,1	Самки (В) / 44,1
11	весна	12	–	Самки (Г) / 44,1	Самки (Н) / 44,1
	осень	12+	–	Самки (В) / 47,5	Самки (И) / 44,1
12	весна	13	–	Самки (Н) / 47,5	Самки (Г) / 44,1
	осень	13+	–	Самки (И) / 47,5	–
13	весна	14	–	Самки (Г) / 47,5	–

*Примечание.* <sup>1</sup> Н – икра новая (стадия «икра зелёная»); И – икра присутствует, независимо от стадии; Г – икра с «глазками» или личинки выпущены; В – икры нет, есть гонады под карапаксом; <sup>2</sup> – значения взяты из табл. 4.

Опираясь на описанный выше алгоритм, были получены данные по возрастному составу в разных районах в разные годы. Их анализу, также, как и построению размерно-возрастных ключей, включая ретроспективный анализ (см. выше), мы планируем посвятить наши следующие публикации.

### ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные данные позволили обновить наши представления о жизненном цикле и продолжительности жизни гребенчатой креветки. В большинстве популяций продолжительность жизни данного вида невысока и составляет около 5 лет [Kurata, 1981]. В своё время именно эта цифра могла ввести наших исследователей в заблуждение, и предельный возраст для популяции Татарского пролива сильно занижался.

Однако после того, как несколькими авторами [Буяновский и др., 1999; Букин, 2002] было отмечено, что доля самок с наружной икрой остаётся значительной в течение всего года, представления о продолжительности жизни пришлось пересмотреть в большую сторону. Уже в начале 2000-х гг., на основе анализа размерных рядов было установлено, что максимальный возраст поколения достигает 10 лет, но при расчётах авторы [Букин, Юрьев, 2006] не учитывали фактор 15-месячной инкубации, при котором увеличение размеров самок происходит не ежегодно, а один раз в 2 года. Этот фактор был учтён в другом исследовании, но автор [Буяновский, 2004], во-первых, неточно определил стартовый возраст, во-вторых, не был выявлен один возрастной класс у самцов и, в-третьих, не была обнаружена самая старшая группа, которая

в то время была «убита» чрезмерной промысловой нагрузкой. В итоге конечная оценка максимального возраста также составила 10+.

В более поздних исследованиях эти ошибки были учтены, что позволило оценить ориентировочный возраст в 12, максимум в 16 лет [Юрьев, 2024]. Эти величины очень близки к значению, предложенному в данной работе, но, поскольку наши методы представляются нам более точными, то в настоящее время величина в 14 лет наиболее предпочтительна. Она также согласуется с выводом М.И. Сапрыкиной [1997], основанном на морфологическом анализе изменений клеточного состава гонад и индивидуальной плодовитости самок по мере их роста. Её расчёты показали, что в российской части Японского моря самка гребенчатой креветки в течение жизненного цикла может дать четыре поколения потомков. С учётом двухлетнего цикла размножения, ей понадобится для этого 8 лет. Тогда, при смене пола в возрасте 6+ и первом выклеве личинок в возрасте 8 лет (табл. 4), последний четвёртый выклев личинок произойдёт у самки в 14 лет. При этом, так же как ранее мы указывали для крабов [Буяновский, Стесько, 2024], возраст регистрируемых в уловах поколений не отменяет возможности доживания отдельных особей до более преклонных значений.

Предположение о возможности смены пола в разном возрасте высказывалось достаточно давно (например, Б.Г. Иванов в устном сообщении в 2000 г.), но ранее, при анализе размерного состава интерсексов удавалось выделить только один возрастной класс. Только исследование данного массива показало, что этих классов 2, и эти данные подтвердили предположение, высказанное ранее одним из авторов [Юрьев, 2024]. В целом, возможность смены пола в более раннем возрасте следует рассматривать как один из адаптивных механизмов устойчивости популяции в условиях чрезмерного промысла [Букин, Юрьев, 2006]. При принятии за основу схемы, изложенной в табл. 4, наилучшим индикатором такой адаптации может стать доля самок группы 35,6 мм весной и интерсексов группы 34,2 мм осенью.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ размерных рядов, позволяющий расщеплять их на смеси нормальных распределений хорошо показал себя при установлении возрастного состава уловов самцов и интерсексов гребенчатой креветки. Для выявления возрастного состава в уловах самок требуется ряд дополнительных условий, и поэтому оценки, выполненные в данной категории менее надёжны. Тем не менее, полученных данных

вполне достаточно, чтобы, во-первых, отследить динамику урожайных поколений, во-вторых, оценить пространственно-временную изменчивость возрастного состава, и, в-третьих, оценить состояние популяции по соотношению особей, меняющих пол в 5 и 6 лет соответственно. Всех этих аспектов мы планируем коснуться в наших последующих публикациях.

## Благодарности

Авторы искренне признательны Организационному комитету II Международной научно-практической конференции «Современные методы оценки и рационального использования водных биологических ресурсов» (памяти В.К. Бабаяна) за возможность доклада основных положений данной публикации. Мы также благодарим двух наших анонимных рецензентов, чьи замечания позволили улучшить качество работы.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов.

## Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

## Финансирование

Работа выполнена по личной инициативе без дополнительного финансирования.

## ЛИТЕРАТУРА

- Букин С.Д. 2002. Изменения популяционных параметров гребенчатого чилима *Pandalus* Татарского пролива под влиянием промысла // Тез. докл. 6-й Всеросс. конф. по промысловым беспозвоночным. М.: ВНИРО. С. 70-72.
- Букин С.Д., Юрьев Д.Н. 2006. Динамика состояния запасов и перспективы промысла гребенчатой креветки в Татарском проливе // Известия ТИНРО. Т. 144. С. 112-121.
- Буяновский А.И. 2001 а. К сезонным изменениям в популяции гребенчатой креветки, *Pandalus hypsinotus* (Decapoda, Pandalidae) в Татарском проливе (Японское море) // Зоологический журнал. Т. 80. № 2. С. 165-169.
- Буяновский А.И. 2001 б. К оценке возрастной структуры популяции гребенчатой креветки *Pandalus hypsinotus* (Decapoda, Pandalidae) в Татарском проливе (Японское море) // Зоологический журнал. Т. 80. № 4. С. 398-402.
- Буяновский А.И. 2004. Пространственно-временная изменчивость размерного состава в популяциях двусторчатых моллюсков, морских ежей и десятиногих ракообразных. М.: ВНИРО. 306 с.
- Буяновский А.И. 2021. Динамика возрастного состава самок камчатского краба в Баренцевом море // Камчатский краб в Баренцевом море. Изд. 3-е, переработанное и дополненное. М: Изд-во ВНИРО. С. 262-282.

- Буяновский А.И., Алексеев Д.О., Сологуб Д.О., Бизиков В.А. 2023б. Динамика запасов и регулирование промысла крабов в морях России. М.: Изд-во ВНИРО. 324 с.
- Буяновский А.И., Войдаков Е.В. 2011. Возрастной состав травяной креветки *Pandalus latirostris* (Decapoda, Pandalidae) у островов Малой Курильской Гряды // Вопросы рыболовства. Т. 12, № 2. С. 274-292.
- Буяновский А.И., Новомодный Г.В., Шмигирилов А.П. 2001. К пространственной структуре популяции гребенчатой креветки *Pandalus hypsinotus* Brandt в Татарском проливе // Исследования биологии промысловых ракообразных и водорослей морей России. М.: ВНИРО. С. 216-226.
- Буяновский А.И., Сергеева З.М., Милютин Д.М., Садыхова И.А., Тальберг Н.Б., Зубаревич В.Л. 1999. Распределение и биология гребенчатой креветки в Татарском проливе в 1996-97 гг. // Прибрежные гидробиологические исследования. М: ВНИРО. С. 109-125.
- Буяновский А.И., Стесько А.В. 2024. Динамика возрастного состава самцов камчатского краба в Баренцевом море с учётом вероятности линьки // Труды ВНИРО. Т. 197. С. 5-24.
- Буяновский А.И., Стесько А.В., Горянина С.В., Сидоров Л.К. 2023 а. Динамика возрастного состава самцов камчатского краба в Баренцевом море // Труды ВНИРО. Т. 191. С. 5-24.
- Иванов Б.Г. 1978. О возможности разделения одного возрастного класса у ракообразных на две размерных группы на примере *Pandalus borealis* (Crustacea, Decapoda) // Зоологический журнал. Т. 57. № 2. С. 673-681.
- Иванов Б.Г. 2004. Методическое пособие по промысловобюлогическим исследованиям морских креветок (съёмки запасов и полевые анализы): Вып. 2. Изучение экосистем рыбохозяйственных водоёмов, сбор и обработка данных о водных биологических ресурсах, техника и технология их добычи и переработки. М.: ВНИРО. 110 с.
- Михеев А.А. 2011. Возрастная детерминация размерного состава улова на основе разделения смеси вероятностных распределений // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. № 22. С. 79-92.
- Низяев С.А., Букин С.Д., Клитин А.К., Первеева Е.Р., Абрамова Е.В., Крутченко А.А. 2006. Пособие по изучению промысловых ракообразных дальневосточных морей России. Южно-Сахалинск: СахНИРО, 114 с.
- Сапрыкина М.А. 1997. Некоторые данные по биологии размножения гребенчатой креветки (*Pandalus hypsinotus* Brandt) в Японском море // Известия ТИНРО. Т. 122. С. 579-590.
- Соколов В.И. 2000. Замечания по биологии северной, гребенчатой и японской креветок в дальневосточных морях (Crustacea, Decapoda, Pandalidae) // Зоологический журнал. Т. 79. № 7. С. 787-800.
- Табунков В.Д. 1982. Экология, репродуктивный цикл и условия воспроизводства трех видов креветок рода *Pandalus* в Татарском проливе // Известия ТИНРО. Т. 106. С. 42-53.
- Юрьев Д.Н. 2024. Об особенностях жизненного цикла гребенчатой креветки *Pandalus hypsinotus* (Decapoda, Pandalidae) в Татарском проливе // Известия ТИНРО. Т. 204. С. 134-145.
- Юрьев Д.Н., Жуковская Г.В. 2021. Сезонные изменения биологического состояния и репродуктивный цикл гребенчатой креветки *Pandalus hypsinotus* (Caridea, Pandalidae) в Татарском проливе // Известия ТИНРО. Т. 201. С. 547-560.
- Gallucci V.F., Amjoun B., Hedgpeh J., Lai H.L. 1996. Size-based methods of stock assessment of small-scale fisheries // Stock assessment: Quantitative methods and applications for small-scale fisheries. / V.F. Gallucci, S.B. Saila, D.J. Gustafson, B.J. Rothschild eds., NY: Lewis Publ. P. 9-81.
- Kurata H. 1981. Pandalid shrimp fisheries of Japan // Proc. of the International Pandalid Shrimp Symposium. Kodiak, Alaska, February 13-15, 1979 / T. Frady ed. Sea Grant Reports 81-3. Kodiak: University of Alaska. P. 89-159.
- Lasdon L.S., Waren A.D., Jain A., Ratner M. 1978. Design and testing of a generalized reduced gradient code for nonlinear programming // ACM Transactions on Mathematical Software (TOMS). V. 4. № 1. P. 34-50.

## REFERENCES

- Buyanovsky A. I., Novomodnyj G. V., Shmigirilov A. P. 2001. On spatial structure of humpback shrimp, *Pandalus hypsinotus* Brandt, population in the Tatar Strait // Study of biology of commercial crustaceans and algae of Russia seas. Moscow: VNIRO Publish. P. 216-226. (In Russ.)
- Buyanovsky A. I., Sergieva Z. M., Milyutin D. M., Sadyhova I. A., Tal'berg N. B., Zubarevich V. L. 1999. Distribution and biology of the humpback shrimp in the Tatar Strait in 1996-97 // Coastal hydrobiological researches. Moscow: VNIRO Publish. P. 109-125. (In Russ.)
- Buyanovsky A. I., Stes'ko A. V. 2024. Dynamics of the age composition of the red king crab males in the Barents Sea with account of probability molt // Trudy VNIRO. V. 197. P. 5-24. (In Russ.)
- Buyanovsky A. I., Stes'ko A. V., Goryanina S. V., Sidorov L. K. 2023. Dynamics of the age composition of the red king crab males in the Barents Sea // Trudy VNIRO. V. 191. P. 5-24. (In Russ.)
- Ivanov B. G. 1978. On the possible division of one age class in crustaceans to two size groups on example of *Pandalus borealis* (Crustacea, Decapoda) // Zoologicheskij zhurnal. V. 57. No 2. P. 673-681. (In Russ.)
- Ivanov B. G. 2004. Methodological manual on commercial biological research of marine shrimp (stock surveys and field analyses): Iss. 2. Study of ecosystems of fishery waters, collection and processing of data on aquatic biological resources, technology and techniques for their extraction and processing. Moscow: VNIRO Publish. 110 p. (In Russ.)
- Mikheyev A. A. 2011. age recognition in catch-at-size composition base on mixture separation of probability distributions // Issledovaniya vodnyh biologicheskikh resursov Kamchatki i severo-zapadnoj chasti Tihogo okeana. No. 22. P. 79-92. (In Russ.)
- Nizyaev S. A., Bukin S. D., Klitin A. K., Perveeva E. R., Abramova E. V., Krutchenko A. A. 2006. A manual for the study of commercial crustaceans of the Far Eastern seas of Russia. Yuzhno-Sahalinsk: SakhNIRO Publish. 114 p. (In Russ.)
- Saprykina M. A. 1997. Some data on the reproduction biology of the comb shrimp (*Pandalus hypsinotus* Brandt) in the Sea of Japan // Izvestiya TINRO. V. 122. P. 579-590. (In Russ.)
- Sokolov V. I. 2000. Notes on the biology of northern, humpback and Japanese shrimp in the Far East seas (Crustacea, Decapoda, Pandalidae) // Zoologicheskij zhurnal. V. 79. No 7. P. 787-800. (In Russ.)
- Tabunkov V. D. 1982. Ecology, reproductive cycle and conditions of reproduction of three species of shrimp of the genus *Pandalus* in the Tatar Strait // Izvestiya TINRO. V. 106. P. 42-53. (In Russ.)
- Yuriev D. N. 2024. On features of the life cycle of humpback shrimp *Pandalus hypsinotus* (Decapoda, Pandalidae) in the Tatar Strait // Izvestiya TINRO. V. 204. P. 134-145. (In Russ.)
- Yuriev D. N., Zhukovskaya G. V. 2021. Seasonal changes of biological condition and reproductive cycle of humpback shrimp *Pandalus hypsinotus* (Caridea, Pandalidae) in the Tatar Strait // Izvestiya TINRO. V. 201. P. 547-560. (In Russ.)
- Gallucci V. F., Amjou B., Hedgpeth J., Lai H. L. 1996. Size-based methods of stock assessment of small-scale fisheries // Stock assessment: Quantitative methods and applications for small-scale fisheries. / V. F. Gallucci, S. B. Saila, D. J. Gustafson, B. J. Rothschild eds., NY: Lewis Publ. P. 9-81.
- Kurata H. 1981. Pandalid shrimp fisheries of Japan // Proc. of the International Pandalid Shrimp Symposium. Kodiak, Alaska, February 13-15, 1979 / T. Frady ed. Sea Grant Reports 81-3. Kodiak: University of Alaska. P. 89-159.
- Lasdon L. S., Waren A. D., Jain A., Ratner M. 1978. Design and testing of a generalized reduced gradient code for nonlinear programming // ACM Transactions on Mathematical Software (TOMS). V. 4. № 1. P. 34-50.

Поступила в редакцию 19.02. 2025 г.  
Принята после рецензии 26.03.2025 г.



УДК 597.552.511

## Промысловые виды и их биология

# К вопросу сохранения популяций осетровых видов рыб в пограничных водах реки Амур в XXI веке

В.Н. Кошелев, Д.В. Коцюк

Хабаровский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ХабаровскНИРО»), Амурский бульвар, 13а, г. Хабаровск, 680038

E-mail: koshelev@khabarovsk.vniro.ru

SPIN-код: В.Н. Кошелев 5569-5540, Д.В. Коцюк 7469-1108

**Цель работы:** оценка современного состояния популяций осетровых видов рыб в российской части пограничных вод реки Амур.

**Используемые методы:** в основу работы положены результаты экспедиционных работ, выполненных в 2007, 2008, 2010, 2011, 2013, 2018-2025 гг. сотрудниками Хабаровского филиала ФГБНУ «ВНИРО» в пограничных Российско-Китайских водах реки Амур. Работы выполняли в режиме научных съёмок и на стационарных пунктах. В качестве орудий лова использовали донные плавные сети и бим-трал.

**Новизна:** данная публикация обобщает ранее неопубликованные данные о состоянии популяций осетровых видов рыб в российской части пограничных вод реки Амур. **Результаты:** по итогам почти двадцатилетних исследований установлено, что в пограничных водах среднего и верхнего течения Амура популяции осетровых видов рыб находятся в неудовлетворительном состоянии. Отмечено многократное снижение численности калуги и амурского осетра и ухудшение качественной структуры популяций. Мы предполагаем, что основным фактором, негативно повлиявшим на состояние здесь запасов обоих видов осетровых, стал их масштабный промышленный вылов в водах России и КНР. Развёрнутое в последние 20 лет искусственное воспроизводство калуги и амурского осетра не привело к росту их численности в среднем и верхнем течении Амура. Для восстановления осетровых в пограничных водах Амура необходимы комплексные совместные меры двух стран, состоящие из поддержания совокупного воспроизводства за счёт создания максимально благоприятных условий для естественной репродукции осетровых рыб и их искусственное воспроизводство с выпуском молоди укрупнённой навески.

**Практическая значимость:** полученные данные будут использованы в работе Смешанной Российско-Китайской комиссии в области рыбного хозяйства для выработки единых подходов в сохранении запасов осетровых видов рыб в пограничных водах реки Амур.

**Ключевые слова:** р. Амур, калуга *Huso dauricus*, амурский осетр *Acipenser schrenckii*, искусственное воспроизводство.

## On the issue of preserving sturgeon fish populations in the boundary waters of the Amur River in the 21<sup>st</sup> century

Vsevolod N. Koshelev, Denis V. Kotsyuk

Khabarovsk branch of «VNIRO» («KhabarovskNIRO»), 13a, Amursky boulevard, Khabarovsk, 680038, Russia

**The aim:** to assess the current state of sturgeon fish populations in the Russian part of the boundary waters of the Amur River.

**Methods:** the work is based on the results of expeditionary work carried out in 2007, 2008, 2010, 2011, 2013, 2018-2025 by employees of the Khabarovsk branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution «VNIRO» in the Russian-Chinese border waters of the Amur River. The work was carried out in the mode of scientific surveys and at stationary points. Bottom drift nets and a beam trawl were used as fishing gear.

**Novelty:** this publication summarizes previously unpublished data on the state of sturgeon fish populations in the Russian part of the boundary waters of the Amur River.

**Results:** Based on the results of almost twenty years of research, it was established that in the boundary waters of the middle and upper reaches of the river the Amur sturgeon populations are in an unsatisfactory condition. A multiple decrease in the number of Kaluga and Amur sturgeon and a deterioration in the qualitative structure of the populations have been noted. We assume that the main factor that negatively affected the state of the stocks of both sturgeon species here was their large-scale industrial catch in the waters of the PRC. The artificial reproduction of Kaluga and Amur sturgeon in China, which has been deployed over the past 20 years, has not led to an increase in their numbers in the middle and upper reaches of the Amur. To restore sturgeons in the border waters of the Amur, comprehensive joint measures by the Russian Federation and the PRC are needed, consisting of maintaining aggregate reproduction by creating the most favorable conditions for the natural reproduction of sturgeon fish and their artificial reproduction with the release of large-sized juveniles.

**Practical significance:** the obtained data will be used in the work of the joint Russian-Chinese commission in the field of fisheries to develop unified approaches to preserving sturgeon stocks in the border waters of the Amur River.

**Keywords:** Amur river, Kaluga *Huso dauricus*, Amur sturgeon *Acipenser schrenckii*, artificial reproduction.

## ВВЕДЕНИЕ

Осетровые рыбы – представители древнего уникального отряда *Acipenseriformes*, высокие пищевые качества, с одной стороны, и особенности экологии (длинный жизненный цикл, медленный рост, позднее половое созревание и др.), с другой стороны, привели к перелому их природных популяций [Ходоревская и др., 2007; Рубан и др., 2015; Birstein et al., 1997; Billard, Lecoindre, 2001; Elhetawy et al., 2023]. В бассейне Амура и ряде крупных рек материка, о-вов Сахалин, Хонсю и Хоккайдо, а также в прибрежье и на шельфе Охотского и Японского морей обитают калуга *Huso dauricus* (Georgi, 1775) и амурский осетр *Acipenser schrenckii* Brandt, 1869 [Крыхтин, Горбач, 1994; Krykhtin, Svirskii, 1997; Omoto et al., 2004; Кошелев и др., 2012]. Вкусовые качества мяса осетровых издавна привлекали жителей Амурского бассейна. Промышленное освоение осетровых здесь было начато во второй половине XIX века. Уловы калуги (597,4 т) и амурского осетра (610 т) в бассейне Амура достигли своего максимума в 1891 г. [Крюков, 1894]. В начале XX века интенсификация промысла привела к многократному снижению уловов [Солдатов, 1915; Никольский, 1956]. В последние десятилетия официальный лов калуги и амурского осетра на территории Российской Федерации (РФ) и Китайской Народной Республики (КНР) проводится только для научных целей и для заготовки производителей при искусственном воспроизводстве. Несмотря на действие запретов на промысел, состояние их популяций на протяжении последних ста лет продолжает ухудшаться [Солдатов, 1915; Крыхтин, Горбач, 1994; Qiwei et al., 1997; Кошелев, 2010 и др.].

Граница РФ и КНР почти полностью проходит по водным объектам, в основном – это р. Амур и её крупный приток, р. Уссури. Протяжённость государственной границы по верхнему течению Амура (выше устья р. Зея) составляет 833 км, по среднему течению (от устья р. Зея до устья р. Уссури) – 995 км. Соответственно пограничные Российско-Китайские воды делятся на российскую часть, расположенную от линии демаркации (судового хода) до берега (территории) РФ, и китайскую. Также отметим, что все нижнее течение Амура, ниже устья р. Уссури, является внутренними водами РФ.

Сохранению и увеличению численности калуги и амурского осетра и на территории РФ, и на территории КНР в последние годы придаётся важное значение. Мониторинг состояния популяций калуги и амурского осетра в пограничных водах Амура выполняется каждой из стран по своей методике. Результаты работ представляются учёными в рамках обмена научной

информацией на Российско-Китайской Рабочей комиссии по управлению рыбным промыслом в пограничных водах рек Амур и Уссури. Российские исследования в пограничных водах Амура до настоящего времени не опубликованы в открытой печати. В связи с этим целью нашей работы является оценка современного состояния популяций осетровых видов рыб в российской части пограничных вод реки Амур.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В основу настоящей работы положены материалы XXI века, собранные сотрудниками Хабаровского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («ХабаровскНИРО») при проведении экспедиционных работ в 2007, 2008, 2010, 2011, 2013, 2018-2025 гг. Акватория района исследований включала в себя участок среднего и верхнего течения реки Амур длиной 1054 км от г. Хабаровск до пос. Марково (Амурская область). Работы проводили с использованием плавных донных капроновых сетей с шагом ячеи от 30 до 100 мм, повышением 2,5-4,0 м, длиной до 150 м. Для отлова «заводских» и диких сеголеток осетровых в 2023 и 2025 гг. работы проводили бим-тралом, со следующими характеристиками: стальная рама 1,0 x 0,5 м (площадь сечения – 0,5 м<sup>2</sup>), сетной мешок – однослойный из дели с шагом ячеи 3 мм, длина кутца – 5 м. Траления осуществлялись маломерным судном по одноаерной схеме на уздечке с двумя поводками. Протяжённость сплавов и тралений фиксировали с использованием средств спутниковой навигации. Всего за время работ выполнено 632 сплава и 85 тралений, отловлено 31 экз. калуги и 6 экз. амурского осетра. За относительную численность принята средняя плотность распределения на исследуемом участке, выраженная в экз. на 1 км<sup>2</sup>. Коэффициент уловистости плавных сетей для осетровых рыб в реки Амур не определён. В этих условиях, при расчётах относительной плотности распределения осетровых нами принят коэффициент уловистости равный 1, как не завышающий расчётную численность по отношению к фактической.

Биологический анализ включал измерение длины тела от вершины рыла до окончания средних лучей хвостового плавника (АС), полную массу тела (W), у крупных особей определяли пол [Правдин, 1966]. Определение стадии зрелости половых желёз в полевых условиях производили визуально по шкале зрелости, разработанной В.З. Трусовым [1964] для русского осетра *Acipenser gueldenstaedtii* Brandt, 1833.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

За тринадцать лет проведения исследований в пограничных водах Амура было отловлено всего 31 экз.

калуги и 6 экз. амурского осетра, причём, в большинстве случаев осетровые в уловах не отмечались. Средняя относительная численность составила для калуги 1,0 экз./км<sup>2</sup>, амурского осетра – 0,2 экз./км<sup>2</sup> (табл. 1).

Таким образом, результаты наших исследований в текущем веке, несмотря на их масштаб, как по времени, так и по географическому охвату, свидетельствуют о низкой численности осетровых рыб в русловой части среднего и части верхнего течения реки Амур. Отметим, что численность осетровых рыб на Нижнем Амуре, расположенном полностью в водах РФ, кратно выше. Так, по данным наших исследований 2025 г. при проведении сетной съёмки средняя относительная численность калуги на участке от г. Николаевск-на-Амуре до г. Хабаровск (930 км) составила 6,9 экз./км<sup>2</sup>, амурского осетра – 68,9 экз./км<sup>2</sup>.

Результаты более ранних исследований калуги и амурского осетра в среднем и верхнем течении Амура описаны в работах Солдатова [1915], Пробатова [1935] и Крыхтина [1972]. По данным литературы, уловы и относительная численность осетровых на всём протяжении периода исследований стабильно уменьшались. Так в 60-80-е гг. прошлого века, относительная численность калуги доходила в до 66,5 экз./км<sup>2</sup>, амурского осетра до 14,9 экз./км<sup>2</sup> и в среднем составила для калуги – 21,6 экз./км<sup>2</sup>, амурского осетра – 4,8 экз./км<sup>2</sup>.

Помимо снижения численности калуги и амурского осетра, наблюдается ухудшение их биологических показателей. В наших уловах (2007-2025 гг.) длина тела калуги варьировала в диапазоне 27,0-96,0 см

(в среднем 46,7 см), у амурского осетра – 11,0-85,0 см (в среднем 38,3 см). Все особи калуги и амурского осетра были представлены особями с гонадами на I-III стадиях зрелости по шкале Трусова [1964]. Половозрелые особи осетровых в уловах отсутствовали. Ранее, на данном участке Амура калуга и амурский осетр были в среднем в 2-3 раза крупнее. По данным А.Н. Пробатова [1935] длина калуги в сборах 1929-1930 гг. в среднем составляла 134 см (варьируя от 122 до 200 см), амурского осетра – 105 см (варьируя от 69 до 194 см). В структуре уловов тех времён половозрелые особи составляли значительную долю (калуга – 35,2%, осетр – 52,4%).

О низкой численности осетровых рыб в бассейне среднего течения Амура в текущем веке также свидетельствуют результаты исследований, проведённые в 2001-2014 гг. В.Н. Буриком [2015], который в своих уловах не отмечает ни калугу, ни амурского осетра в 11 крупнейших притоках Амура в пределах Еврейской автономной области, в которых ранее эти виды отмечались, – это реки Забеловка, Тунгуска, Урми, Глинянка, Добрая, Венцелевская, Икура, Малая Бира, Унгун, Бира и Биджан. В.Н. Бурик приходит к выводу, что оба вида могут считаться исчезнувшими в пределах ЕАО.

В работе Е.П. Горлачевой и А.В. Афонина [2015] отмечают редкость в уловах калуги и амурского осетра в водосборах рек бассейна Верхнего Амура, что подтверждается и нашими данными о состоянии Зейско-Буреинских популяций калуги и амурского осетра [Кошелев и др., 2013].

**Таблица 1.** Данные об уловах и относительной численности осетровых в российской части пограничных вод реки Амур  
**Table 1.** Data on catches and relative abundance of sturgeon in the Russian part of the boundary waters of the Amur River

Год	Количество сплавов	Зона облова, млн м <sup>2</sup>	Улов, экз.		Относительная численность, экз. /1 км <sup>2</sup>	
			Калуга	Амурский осётр	Калуга	Амурский осётр
2007	27	1,17	0	0	0	0
2008	192	8,61	10	3	1,2	0,3
2010	52	6,22	17	2	2,7	0,3
2011	64	2,30	0	0	0	0
2013	16	0,77	0	0	0	0
2018	30	1,55	0	0	0	0
2019	30	1,45	0	0	0	0
2020	35	1,69	0	0	0	0
2021	41	0,90	2	0	2,2	0
2022	35	1,70	0	1	0	0,6
2023	30	1,30	0	0	0	0
2024	30	1,80	0	0	0	0
2025	50	1,21	2	0	1,7	0
<b>Итого</b>	<b>632</b>	<b>30,59</b>	<b>31</b>	<b>6</b>	<b>1,0</b>	<b>0,2</b>

В настоящее время калуга и амурский осетр занесены в Красную книгу Забайкальского края [2012] с категорией 0 для амурского осетра, как вероятно исчезнувший вид, и категорией 1 для калуги, как вида, находящегося под угрозой исчезновения. В Красной книге Амурской области [2020] калуге и амурскому осетру присвоена категория 1 как видам, находящимся под угрозой исчезновения. Также отметим, что Зейско-Буреинская популяция калуги и амурского осетра занесена в Красную книгу Российской Федерации [2021] (категория 1). В целом, в конце прошлого и начале нынешнего века в среднем, верхнем течении Амура произошло многократное снижение численности калуги и амурского осетра. Несмотря на редкость калуги и амурского осетра в верхнем и среднем течении Амура, констатируем, что оба вида не утратили этой части своих ареалов.

В китайской части пограничных вод (провинция Хэйлунцзян) эксплуатация запасов калуги и амурского осетра началась в 50-х годах [Wang, Chang, 2006]. До того периода из-за малочисленности населения и несовершенства орудий лов вылов калуги и амурского осетра был минимален. С 1957 по 1977 гг. готовая продукция из осетра и калуги варьировала от 13 до 100 т в год, в среднем составила 43,3 т (рис. 1). Интенсификация промысла произошла в конце 70-х гг. с приходом иностранных компаний, заинтересованных в покупке осетровой икры. Уловы осетровых достигли пика в 1987 г., когда было выработано 452 т продукции (в среднем 322,2 т/год) в период с 1987 по 1991 гг. Объем продукции из осетровых Амура с 1992 по 1996 гг. составлял в среднем 176,2 т в год. Объем производства осетровой икры за весь период (1957-2005 гг.) составил около

291,5 т с максимумом в 26 т в 1987 г. Вся продукция из осетровых рыб в этот период экспортировалась за пределы КНР. До 80-х гг. ловля осетровых рыб велась в основном на участках Амура от г. Хэйхэ до г. Лобэя и от г. Чжаосина до г. Циндэли. Позднее, основной вылов осетровых сместился вниз по течению на район у г. Фуянь. Количество лодок, участвующих официально в лове осетровых, в 1990-1997 гг. достигало 1053 шт., общее количество лодок, участвующих в многовидовом промысле в пограничных водах р. Амур доходило до 5000 шт. [Новомодный и др., 2004].

В целом, в результате промысла калуги и амурского осетра на территории КНР, в период с 1957 по 2005 гг. только официально было выработано продукции из осетровых 5381 т [Wang, Chang, 2006], что с учётом норм выхода продукции при переработке может свидетельствовать о вылове около 10000 т особей в тушах (в среднем 204 т/год).

В российской части среднего течения Амура вылов осетровых (за пределами пограничных вод) в районе с. Владимировка продолжался только с 1991 по 2001 гг. За данный период было выловлено 318 т калуги и амурского осетра (ср. – 29 т/год). Уловы калуги и амурского осетра на данном участке к 2001 г. упали практически до нуля. При этом в водах России активно развивался ННН-промысел амурских осетровых, достигавший нескольких сотен тонн в год [Новомодный и др., 2004].

Закономерным итогом перелома осетровых в водах России и КНР стало существенное уменьшение их численности в среднем и верхнем течении Амура.

Начиная с 1982 г. в КНР, в частности, в правительстве провинции Хэйлунцзян было принято множество

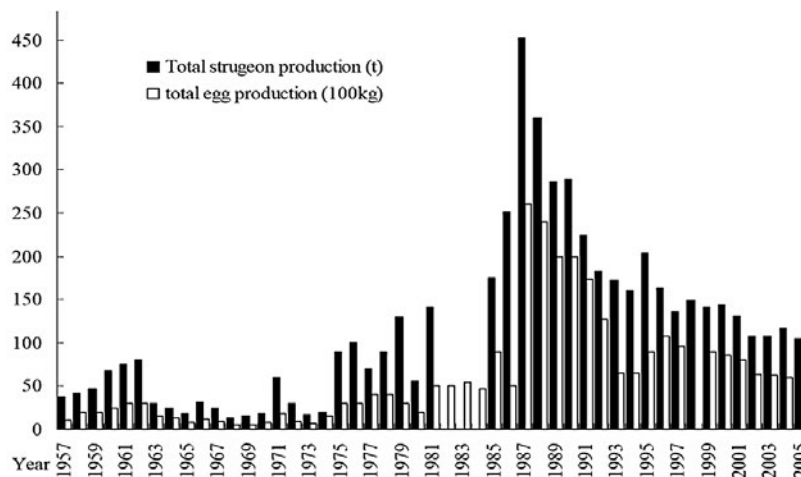


Рис. 1. Данные об объёмах продукции из амурских осетровых в провинции Хэйлунцзян (КНР) 1957-2005 гг. [Wang, Chang, 2006]

Fig. 1. Data on the volume of production of Amur sturgeon in Heilongjiang Province (PRC) 1957-2005 [Wang, Chang, 2006]

документов по защите и управлению ресурсами осетровых в реке Амур [Wang, Chang, 2006]. Так, 23 апреля 1982 г. Народный конгресс провинции Хэйлунцзян обнародовал «Постановление об охране и воспроизводстве рыбных ресурсов правительством провинции Хэйлунцзян», где амурского осетра и калугу включили в список охраняемых водных животных. Была введена промысловая мера: *амурский осетр*  $\geq 1$  м длины и массой  $\geq 4$  кг, *калуга* длина  $\geq 2$  м и массой  $\geq 65$  кг. Был введён ежегодный запрет на рыболовство на реке Амур с 11 июня по 5 июля. Позднее, в 1989 и 1990 гг. был введён ряд правил в части введения промысла, в частности, введены квоты на вылов, переработка осетровой икры могла осуществляться только на стационарных перерабатывающих предприятиях, ко-

личество лицензий было ограничено [Wang, Chang, 2006].

Полагаем, что для восстановления численности калуги и амурского осетра в бассейне среднего и верхнего течения Амура необходим комплекс совместных Российско-Китайских мер, включающий, главным образом, увеличение масштабов и эффективности искусственного воспроизводства обоих видов. На данном участке реки Амур и его притоков расположены только китайские осетровые рыбодоводные заводы (ОРЗ). Российские ОРЗ располагаются ниже по течению. Воспроизводством амурских осетровых в КНР занимаются минимум 9 рыбодоводных предприятий, расположенных как на берегах Амура, так и его крупного притока – реки Сунгари (рис. 2, табл. 2). Ко-

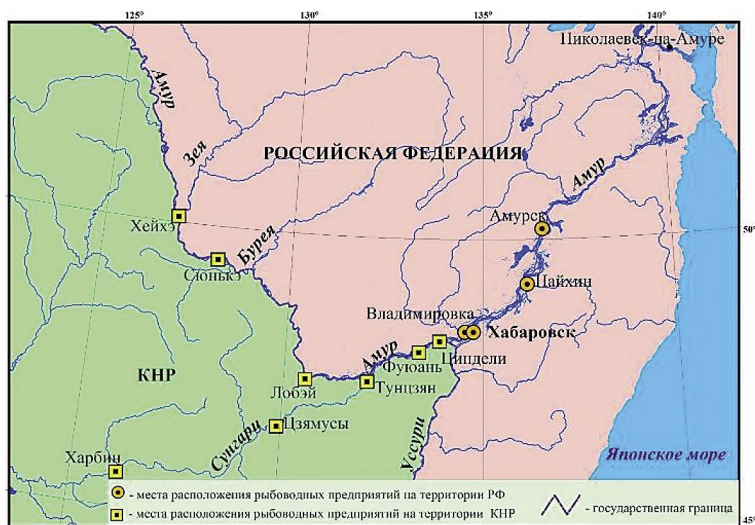


Рис. 2. Расположение осетровых рыбодоводных заводов в бассейне реки Амур

Fig. 2. Location of sturgeon hatcheries in the Amur River basin

Таблица 2. Информация о рыбодоводных предприятиях на территории КНР, осуществляющих выпуски молодей осетровых рыб в бассейне реки Амур

Table 2. Information on fish farms in the territory of the PRC that release young sturgeon in the Amur River basin

№	Название рыбодоводного предприятия	Бассейн реки	Расстояние от устья Амура, км
1	Станция выпуска осетра, г. Циньдэли	Амур	990
2	НИИ особых видов рыб провинции Хэйлунцзян, Харбин	Сунгари	1750
3	Станция выпуска осетра и калуги уезда Фуюань	Амур	1000
4	Центр сохранения ресурсов водных животных провинции Хэйлунцзян, Лобэй	Амур	1200
5	Центр реабилитации диких животных, г. Харбин	Сунгари	1750
6	Центр сохранения ресурсов водных животных провинции Хэйлунцзян, г. Тунцзян	Амур	1150
7	Станция выпуска осетра и калуги, г. Сюнькэ	Амур	1400
8	Центр сохранения ресурсов водных животных провинции Хэйлунцзян, г. Цзямусы	Сунгари	1450
9	Главная станция водных промыслов г. Хэйхе	Амур	1800

личество выпускаемой молодежи на отдельных рыбноводных предприятиях варьирует год от года. Лидерами являются Станция выпуска осетра в г. Циньдэли и станция выпуска осетра и калуги в г. Сюнькэ, ежегодный выпуск молодежи осетровых с которых превышает 0,1 млн/год.

История искусственного воспроизводства амурских осетровых в КНР, по данным китайских учёных, охватывает 70-летний период. Однако, первое упоминание о выпуске молодежи в Амур относится только к 1988 г. [Qiwei et al., 1997; Wang, Chang, 2006]. Основной задачей рыбноводных предприятий КНР на реке Амур с 1988 по 2005 гг. являлось получение посадочного материала, от отловленных производителей, для продажи на рыбноводные предприятия быстрорастущего в те годы товарного осетрового рыбноводства в центральной и южной частях страны.

Согласно протоколам Рабочей комиссии по управлению рыбным промыслом в пограничных водах рек Амур и Уссури в период с 2006 по 2024 гг. в реку Амур с рыбноводных предприятий КНР было суммарно выпущено 3,86 млн экз. молодежи калуги и 10,40 млн экз. молодежи амурского осетра. В среднем в год с ОРЗ КНР в реку Амур выпускали 203 тыс. экз. калуги и 547 тыс. экз. амурского осетра. Наблюдаем в последние годы (начиная с 2016 г.) значительный рост выпуска молодежи обоих видов осетровых рыб с китайских ОРЗ (рис. 3).



Рис. 3. Объёмы выпуска молодежи осетровых рыб в реку Амур в КНР (тыс. экз.)

Fig. 3. Volumes of release of juvenile sturgeon fish in the Amur River in China

История искусственного воспроизводства амурских осетровых в РФ начата с ввода в эксплуатацию Владимирского и Анюйского ОРЗ (2009 г.). До этого времени оно осуществлялось в экспериментальном режиме. В 2006-2024 гг. с российских ОРЗ, расположенных ниже по течению, было выпущено 7,3 млн экз. молодежи калуги (в среднем 0,4 млн экз. в год) и 28,2 млн экз. амурского осетра (в среднем 1,5 млн

экз. в год). В контексте исследуемого района только Владимирский ОРЗ можно условно считать расположенным в пределах среднего течения Амура (водах, прилегающих к пограничным), однако молодежь, выпускаемая с него, скатывается в нижнее течение реки.

Несмотря на рост выпуска молодежи калуги и амурского осетра, осуществляемый в реку Амур с китайских ОРЗ, численность обоих видов, как и ранее остаётся низкой. По нашим данным при проведении работ в 2023 и 2025 гг. в июле и августе в уловах малькового бимтрала в среднем течении реки Амур сеголетки осетровых в уловах отсутствовали. Возможной причиной низкой численности заводской молодежи, в частности, является массовый скат заводской молодежи после выпуска с мест выпуска в бассейне среднего течения, где расположены ОРЗ, в нижнее течение реки Амур. Это, по нашему мнению, обусловлено минимум двумя причинами. Первой является слабая подготовленность заводской молодежи калуги и амурского осетра к естественным условиям реки Амур. Выращивание молодежи на всех ОРЗ ведётся в бассейнах или прудах, где практически отсутствует течение (0,1-0,2 м/с). Заводская молодежь в силу слабой плавательной способности после выпуска не способна сопротивляться течению реки Амур, скорость которого здесь варьирует от 1 до 2 м/с, и пассивно скатывается вниз по течению. Так, по нашим наблюдениям, заводская молодежь (2-3 грамма) перед выпуском при испытаниях в гидродинамическом лотке имеет крайне слабую плавательную способность, при которой она с трудом, на короткие периоды времени, сопротивляется скоростям течения. Таким образом, можно предположить, что заводская молодежь с ОРЗ КНР неизбежно скатывается в воды нижнего течения реки Амур. Возможным выходом из данной ситуации является повышение размеров выпускаемой молодежи калуги и амурского осетра для увеличения её плавательной способности и последующего закрепления в районах выпуска. Ещё одним важным фактором, влияющим на низкую численность молодежи осетровых, является состояние её кормовой базы. Например, при исследованиях кормовой базы осетровых бим-тралом, средняя плотность молодежи различных видов рыб и беспозвоночных (креветка *Palaemon modestus*), являющихся кормовыми объектами сеголеток калуги и частично амурского осетра на участке русла среднего Амура от г. Хабаровск до с. Пашково, составляет 0,12 г/м<sup>2</sup>, а на участке нижнего Амура от устья до с. Киселевка – 0,47 г/м<sup>2</sup>. Таким образом, кормовая база молодежи осетровых в среднем течении меньше чем в нижнем, что также не способствует её закреплению в районе китайских

ОРЗ. Учитывая изложенное, можно утверждать, что искусственное воспроизводство калуги и амурского осетра в пограничных водах КНР и РФ с выпуском заводской молоди не может являться единственным способом увеличения численности на данном участке их ареалов. Между тем, положительное значение искусственного воспроизводства калуги и амурского осетра в водах РФ было оценено на основе данных о многократном росте численности молоди и «подростков» обоих видов в нижнем течении реки Амур [Кошелев и др., 2022].

Полагаем, что как и в других странах, где обитают осетровые рыбы, сохранение и восстановление запасов калуги и амурского осетра в пограничных Российско-Китайских водах среднего и верхнего Амура должно основываться на поддержании воспроизводства за счёт создания максимально благоприятных условий для естественной репродукции, а также дополнительным способом – искусственным воспроизводством. В условиях пограничного статуса данных акваторий стратегия сохранения и восстановления должна быть выработана совместно на основе данных учёных КНР и РФ о биологии видов, динамике их численности и качественной структуры, а также производственных мощностей искусственного воспроизводства.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги почти двадцатилетних российских исследований в пограничных водах среднего и верхнего течения реки Амур свидетельствуют о неудовлетворительном состоянии популяций осетровых рыб на данном участке их ареалов. Отмечается многократное снижение численности калуги и амурского осетра и ухудшение качественной структуры их популяций. Сходная неудовлетворительная ситуация зафиксирована также в верховьях бассейна реки Амур (реки Шилка и Аргунь) и в его основных притоках (реки Зея и Бурей). Мы предполагаем, что важным фактором, негативно повлиявшим на состояние запасов обоих видов осетровых в реке Амур, стал их масштабный вылов в водах КНР и России. Развёрнутое в последние 20 лет искусственное воспроизводство калуги и амурского осетра в КНР и РФ не привело к росту их численности в среднем и верхнем течении Амура. Для восстановления популяций осетровых в пограничных водах Амура необходимы комплексные совместные меры двух стран, состоящие из поддержания воспроизводства за счёт создания максимально благоприятных условий как естественной репродукции, так и для эффективного искусственного воспроизводства с выпуском молоди укрупнённой навески.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы при планировании и выполнении полевых и экспериментальных работ соблюдены.

## Финансирование

Исследование проводилось в соответствии с Государственным заданием Хабаровского филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ХабаровскНИРО»).

## ЛИТЕРАТУРА

- Бурик В.Н. 2015. Особенности ихтиофауны равнинных притоков Амура на территории Еврейской Автономной Области // Мат. конф. с межд. участием «Регионы нового освоения: Современное состояние природных комплексов и вопросы их охраны», 11-14 октября 2015 г., Хабаровск. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2015. С. 20-23.
- Горлачева Е.П., Афонин А.В. 2015. Рыбное население бассейна реки Аргунь в условиях антропогенного воздействия // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. № 10. С. 273-281.
- Кошелев В.Н. 2010. Амурский осетр *Acipenser schrenckii* Brandt, 1869 (распределение, биология, искусственное воспроизводство). Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: ВНИРО. 24 с.
- Кошелев В.Н., Черниенко Э.П., Балушкин В.А., Кульбачный С.Е., Канзепарова А.Н., Пономарев С.Д. 2012. Современные данные о распределении и биологии калуги *Acipenser dauricus* и амурского осетра *Acipenser schrenckii* в водах Охотского и Японского морей // Известия ТИНРО. Т. 169. С. 3-11.
- Кошелев В.Н., Коцюк Д.В., Рубан Г.И. 2013. Современное состояние зейско-буреинских популяций калуги и амурского осетра // Вопросы рыболовства. Т. 14, № 2 (54). С. 197-203.
- Кошелев В.Н., Коцюк Д.В., Колпаков Н.В. 2022. Размерно-возрастная структура и численность калуги *Huso dauricus* и амурского осетра *Acipenser schrenckii* (Acipenseridae) в реке Амур // Вопросы рыболовства. Т. 23, № 4. С. 33-43.
- Красная Книга Забайкальского края: Животные 2012. / В.Е. Кирилук ред. Новосибирск: Новосибирский издательский дом. 344 с.
- Красная Книга Амурской области: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных, растений и грибов 2020. / А.В. Сенчик, Е.И. Маликова ред. 2-е изд., испр., перераб. и доп. Благовещенск: Изд-во ДальГАУ. 502 с.
- Красная Книга Российской Федерации. Животные 2021. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации.

- Федерации, ВНИИ Экология, ИПЭЭ им. А.Н. Северцова РАН. М.: ВНИИ Экология. 1128 с.
- Крыхтин М.Л. 1972. Изменение состава и численности стада калуги *Huso dauricus* (Georgi 1775) и осетра *Acipenser schrenckii* Brandt, 1869 за период запрета промысла в бассейне Амура // Вопросы ихтиологии. Т. 12. В. 1 (72). С. 3-12.
- Крыхтин М.Л., Горбач Э.И. 1994. Осетровые рыбы Дальнего Востока // Экономическая жизнь Дальнего Востока. Т. 1, № 3. С. 86-91.
- Крюков Н.А. 1894. Некоторые данные о положении рыболовства в Приамурском крае // Записки Приамурского отдела Императорского русского географического общества. Т. 1, Вып. 1. Санкт-Петербург. 87 с.
- Никольский Г.В. 1956. Рыбы бассейна Амура. М.: АН СССР. 553 с.
- Новомодный Г.В., Золотухин С.Ф., Шаров П.О. 2004. Рыбы Амура: богатство и кризис. Владивосток: Апельсин. С. 21-34.
- Правдин И.Ф. 1966. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). М.: Пищевая промышленность. 376 с.
- Пробатов А.Н. 1935. Материалы по изучению осетровых рыб Амура // Уч. зап. Пермского ун-та. Т. 1, Вып. 1. С. 33-74.
- Рубан Г.И., Ходоревская Р.П., Кошелев В.Н. 2015. О состоянии осетровых в России // Астрахан. вестн. экол. образования. № 1(31). С. 42-50.
- Солдатов В.К. 1915. Исследование осетровых Амура // Материалы к познанию русского рыболовства. Т. 3, Вып. 12. Петроград, 415 с.
- Трусов В.З. 1964. Некоторые особенности созревания и шкала зрелости половых желёз осетра // Труды ВНИРО. Т. 56. С. 69-78.
- Ходоревская Р.П., Рубан Г.И., Павлов Д.С. 2007. Поведение, миграции, распределение и запасы осетровых рыб Волго-Каспийского бассейна. Москва: Товарищество науч. изданий КМК. 241 с.
- Billard R., Lecointre G. 2001. Biology and conservation of sturgeon and paddlefish // Review of Fish Biology and Fisheries. V. 10. P. 355-392.
- Birstein V.J., Bemis W.E., Waldman J.R. 1997. The threatened status of Acipenseriform species: a summary // Environ. Biol. Fish. V. 48. P. 427-435.
- Eheltawy A.I., Vasilyeva L.M., Sudakova N.V., Rahim M.A. 2023. Sturgeon Aquaculture Potentiality in Egypt in View of the Global Development of Aquaculture and Fisheries Conservation Techniques // An Overview and Outlook Aquat Sci Eng. 38(4). 222-231.
- Krykhtin M., V. Svirskii. 1997. Endemic sturgeons of the Amur River: kaluga, *Huso dauricus* and Amur sturgeon, *Acipenser schrenckii* // Env. Biol. Fish. V. 48. P. 231-239.
- Omoto N., Maebayashi M., Hara A., Adachi S., Yamauchi K. 2004. Gonadal maturity of wild sturgeons, *Huso dauricus*, *Acipenser mikadoi* and *A. schrenckii* caught near Hokkaido, Japan // Env. Biol. Fish. V. 70. P. 381-391.
- Wang B., Chang J. 2006. Status and conservation of sturgeons in Amur River, China: A review based on surveys since the year 2000 // J. Appl. Ichthyol. V. 22 (Suppl. 1). P. 44-52.
- Wei Q., Ke F., Zhang J., Zhuang P., Luo J., Zhou R., Yang W. 1997. Biology, fisheries and conservation of sturgeon and paddlefish in China // Env. Biol. Fish. V. 48. P. 241-255.

## REFERENCES

- Burik V.N. 2015 Features of the ichthyofauna of the lowland tributaries of the Amur in the territory of the Jewish Autonomous Region // Proc. conf. with int. participation «Regions of new development: Current state of natural complexes and issues of their protection», October 11-14, 2015, Khabarovsk. Khabarovsk: IWEP DB RAS, 2015. Pp. 20-23. (In Russ.).
- Gorlacheva E.P., Afonin A.V. 2015. Fish population of the Argun River basin under anthropogenic impact // International Journal of Applied and Fundamental Research. No. 10. P. 273-281. (In Russ.).
- Koshelev V.N. 2010. Amur sturgeon *Acipenser schrenckii* Brandt, 1869 (distribution, biology, artificial reproduction). PhD Abstr. In biology. Moscow: VNIRO. 24 p. (In Russ.).
- Koshelev V.N., Chernienko E.P., Balushkin V.A., Kulbachny S.E., Kanzeperova A.N., Ponomarev S.D. 2012. Modern data on the distribution and biology of Kaluga *Acipenser dauricus* and Amur sturgeon *Acipenser schrenckii* in the waters of the Sea of Okhotsk and the Sea of Japan // Izvestia TINRO. V. 169. Pp. 3-11. (In Russ.).
- Koshelev V.N., Kotsyuk D.V., Ruban G.I. 2013. Current state of the Zeya-Bureya populations of Kaluga and Amur sturgeon // Fishery Issues. V. 14. No. 2 (54). P. 197-203. (In Russ.).
- Koshelev V.N., Kotsyuk D.V., Kolpakov N.V. 2022. Size-age structure and abundance of Kaluga *Huso dauricus* and Amur sturgeon *Acipenser schrenckii* (Acipenseridae) in the Amur River // Fishery Issues. V. 23. No. 4. Pp. 33-43. (In Russ.).
- The Red Book of the Transbaikal Territory: Animals. 2012. / V.E. Kirilyuk ed. Novosibirsk: Novosibirsk Publishing House. 344 p. (In Russ.).
- The Red Book of the Amur Region: Rare and Endangered Species of Animals, Plants, and Fungi 2020. / A.V. Senchik; E.I. Malikova ed. 2nd ed., corrected, revised and enlarged. Blagoveshchensk: FESAU Publish. 502 p. (In Russ.).
- The Red Data Book of the Russian Federation. Animals. 2021. Ministry of Nat. Resources and Environm. of the RF, All-Russian Res. Inst. of Ecology, A.N. Severtsov IPEE RAS. Moscow: All-Russian Research Institute of Ecology. 1128 p. (In Russ.).
- Krykhtin M.L. 1972. Changes in the composition and abundance of stocks of kaluga *Huso dauricus* (Georgi 1775) and sturgeon *Acipenser schrenckii* Brandt, 1869 during the period of fishing ban in the Amur basin // Voprosy ichthyologii. V. 12. Iss. 1 (72). P. 3-12. (In Russ.).

- Krykhtin M.L., Gorbach E.I.* 1994. Sturgeon fishes of the Far East // Economic life of the Far East. V. 1. No. 3. P. 86-91. (In Russ.).
- Kryukov N.A.* 1894. Some data on the state of fisheries in the Amur region // Notes of the Amur Department of the Imperial Russian Geographical Society. V. 1, Iss. 1. St. Petersburg. 87 p. (In Russ.).
- Nikolsky G.V.* 1956. Fishes of the Amur basin. Moscow: AS USSR. 553 p. (In Russ.).
- Novomodny G.V., Zolotukhin S.F., Sharov P.O.* 2004. Amur Fish: Wealth and Crisis. Vladivostok: Apelsin. Pp. 21-34. (In Russ.).
- Pravdin I.F.* 1966. Guide to the study of fish (mainly freshwater). Moscow: Food industry. 376 p. (In Russ.).
- Probatov A.N.* 1935. Materials on the study of sturgeon fishes of the Amur // Uch. zap. Perm University. V. 1. Iss. 1. Pp. 33-72. (In Russ.).
- Ruban G.I., Khodorevskaya R.P., Koshelev V.N.* On the state of sturgeons in Russia in 2015 // Astrakhan. Vestn. Ecol. Education. No. 1(31). P. 42-50. (In Russ.).
- Soldatov V.K.* 1915. Study of Amur sturgeons // Materials for the understanding of Russian fisheries. V. 3. Iss. 12. Petrograd. 415 p. (In Russ.).
- Trusov V.Z.* 1964. Some features of maturation and maturity scale of sturgeon gonads // Trudy VNIRO. V. 56. P. 69-78. (In Russ.).
- Khodorevskaya R.P., Ruban G.I., Pavlov D.S.* 2007. Behavior, migrations, distribution and stocks of sturgeon fishes of the Volga-Caspian basin. Moscow: Partnership of scientific publications KMK. 241 p. (In Russ.).
- Billard R., Lecointre G.* 2001. Biology and conservation of sturgeon and paddlefish // Review of Fish Biology and Fisheries. V. 10. P. 355-392.
- Birstein V.J., Bemis W.E., Waldman J.R.* 1997. The threatened status of Acipenseriform species: a summary // Environ. Biol. Fish. V. 48. P. 427-435.
- Elhetawy A.I., Vasilyeva L.M., Sudakova N.V., Rahim M.A.* 2023. Sturgeon Aquaculture Potentiality in Egypt in View of the Global Development of Aquaculture and Fisheries Conservation Techniques // An Overview and Outlook Aquat Sci Eng. 38(4). 222-231.
- Krykhtin M., V. Svirskii.* 1997. Endemic sturgeons of the Amur River: kaluga, *Huso dauricus* and Amur sturgeon, *Acipenser schrenckii* // Env. Biol. Fish. V. 48. P. 231-239.
- Omoto N., Maebayashi M., Hara A., Adachi S., Yamauchi K.* 2004. Gonadal maturity of wild sturgeons, *Huso dauricus*, *Acipenser mikadoi* and *A. schrenckii* caught near Hokkaido, Japan // Env. Biol. Fish. V. 70. P. 381-391.
2. *Wang B., Chang J.* 2006. Status and conservation of sturgeons in Amur River, China: A review based on surveys since the year 2000 // J. Appl. Ichthyol. V. 22 (Suppl. 1). P. 44-52.
- Wei Q., Ke F., Zhang J., Zhuang P., Luo J., Zhou R., Yang W.* 1997. Biology, fisheries and conservation of sturgeon and paddlefish in China // Env. Biol. Fish. V. 48. P. 241-255.

Поступила в редакцию 26.08.2025 г.  
Принята после рецензий 18.09.2025 г.



УДК 597.553.2

## Промысловые виды и их биология

# Возможные причины необычной динамики подходов горбуши к Восточному Сахалину и о. Итуруп в 2024 г.

А.М. Каев, Л.В. Ромасенко, А.А. Макоедов

Сахалинский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («СакхНИРО»), ул. Комсомольская, 196, Южно-Сахалинск, 693023

E-mail: kaev@outlook.com

SPIN-код: А.М. Каев – 7739-7463, Л.В. Ромасенко – 4517-6530, А.А. Макоедов – 5068-0530

**Цель работы:** установить вероятные причины отклонений численности и сезонной динамики вылова горбуши (*Oncorhynchus gorbuscha*) на островах Сахалин (восточное побережье) и Итуруп от ожидаемых в 2024 г. **Материал исследования:** статистика вылова (Росрыболовство), биологические анализы (материалы сахалинских филиалов «ВНИРО» и «Главрыбвод»), численность горбуши на нерестилищах («Главрыбвод»). **Используемые методы:** сравнительный анализ данных по вылову и его сезонной динамике, по длине рыб (FL), плодовитости самок и соотношению рыб разного пола, а также по динамике покатной миграции молоди. **Результаты:** динамика вылова горбуши определяется соотношением в подходах к побережью ее двух темпоральных форм – ранней и поздней. Уловы горбуши во время подхода ее ранней формы превышали прогноз. Однако с завершением миграции этих рыб дальнейшие подходы горбуши резко уменьшились, что привело к почти полному прекращению уловов. Полученные ранее оценки численности молоди в реках и динамике ее покатной миграции, по условиям обитания мальков в прибрежных морских водах не дают оснований для объяснения появления данного феномена. При совместном обитании разных стад горбуши в открытых морских водах маловероятна высокая избирательная смертность рыб одной из темпоральных форм. Не исключено, что данный феномен стал следствием «сбоя» миграционного механизма в соответствии с известной гипотезой «флуктуирующего стада горбуши», согласно которой возможны масштабные перераспределения нерестовых потоков рыб этого вида между районами воспроизводства разных стад. **Практическая значимость:** полученные результаты указывают на дополнительные нюансы, которые могут быть полезны для использования в процессе научного сопровождения промысла.

**Ключевые слова:** горбуша *Oncorhynchus gorbuscha*, Восточный Сахалин, Итуруп, вылов и его сезонная динамика, темпоральные формы.

## Possible causes for the unusual dynamics of pink salmon approaches to Eastern Sakhalin and Iturup Island in 2024

Alexander M. Kaev, Larisa V. Romasenko, Anton A. Makoedov

Sakhalin branch of VNIRO («SakhNIRO»), 196, Komsomolskaya, Yuzhno-Sakhalinsk, 693023, Russia

**Purpose:** Determine the likely causes of deviations in the abundance and seasonal dynamics of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) catches on Sakhalin Island (east coast) and Iturup Island from those expected in 2024. **Research Material:** Catch statistics (Rosrybolovstvo), biological analyses (materials of VNIRO and Glavrybvod Sakhalin branches), pink salmon numbers on spawning grounds (Glavrybvod). **Methods used:** Comparative analysis of data on catch and its seasonal dynamics, on fish length (FL), female fecundity and the ratio of fish of different sexes, as well as on the dynamics of downstream migration of juveniles. **Results:** The dynamics of pink salmon catch is determined by the ratio of its two temporal forms – early and late – in approaches to the coast. Catches of pink salmon during the approach of its early form exceeded the forecast. However, with the completion of the migration of these fish, further pink salmon approaches declined sharply, resulting in an almost complete cessation of catches. Earlier estimates of juvenile fish abundance in rivers and the dynamics of their downstream migration, based on the conditions of fry habitat in coastal marine waters do not provide a basis for explaining the occurrence of this phenomenon. When different stocks of pink salmon co-occur in open marine waters, high selective mortality of fish of one of the temporal forms is unlikely. It is not excluded that this phenomenon was a consequence of “failure” of the migration mechanism in accordance with the well-known hypothesis of “fluctuating stock of pink salmon”, according to which large-scale redistribution of spawning flows of fish of this species between the areas of reproduction of different stocks is possible. **Practical Significance:** The results indicate additional nuances that may be useful for use in the fisheries science management process.

**Keywords:** Pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha*, Eastern Sakhalin, Iturup, catch and its seasonal dynamics, temporal forms.

## ВВЕДЕНИЕ

В Сахалино-Курильском регионе горбуша *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1792) является самым многочисленным видом из тихоокеанских лососей, вследствие чего уровень её подходов во многом определяет успешность путины. В то же время уловы этого вида подвержены большой межгодовой изменчивости. С одной стороны, это обусловлено наличием у этого вида двух генеративных линий чётных и нечётных лет с почти полной репродуктивной изоляцией между ними. Поимки мигрирующих на нерест рыб в возрасте 0+ довольно редки [Иванков и др., 1975; 1987, Никифорова, 1996; Каев, 2002, Точилина, Смирнов, 2015] и ещё реже в возрасте 2+ (Anas, 1959; Каев, 2003). Вследствие высокого уровня генетической дивергенции между рыбами линий нечётных и чётных лет их стали рассматривать даже как представителей разных видов, *O. gorbuscha sensu stricto* и *O. gorbuschka* sp. nova [Глубоковский, Животовский, 2024]. Как правило, одна из этих линий существенно доминирует по численности. С другой стороны, среди тихоокеанских лососей горбуша является самым короткоцикловым видом, а таким рыбам обычно свойственна повышенная изменчивость численности в чередовании поколений [Никольский, 1974]. Основным показателем точности прогноза является разница между ожидаемым и фактическим выловом. В то же время не менее важен и другой аспект оценки – соответствия сезонной динамики уловов, так как горбуша в подходах представлена рыбами разных группировок, называемых сезонными расами [Иванков, 1967, 2011], популяциями второго ранга [Гриценко, 1981, 1990], либо темпоральными формами [Каев, 2012]. По нашим наблюдениям, промышленные уловы на восточном побережье Сахалина и на о. Итуруп формирует горбуша двух темпоральных форм, мигрирующих из океана через проливы Курильской островной дуги. Япономорская горбуша малочисленна и заходит в реки до начала промышленного лова. Анализ соответствия прогноза фактическим подходам необходим для понимания ошибок и возможных путей их устранения в будущих расчётах. Цель настоящего исследования – установить вероятные причины отклонений численности и динамики подходов горбуши на островах Сахалин (восточное побережье) и Итуруп от ожидаемых в 2024 г.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Данные по биомассе вылова и его сезонной динамике соответствуют официальной статистике Сахалино-Курильского территориального управления Росрыболовства (СКТУ). Промышленный лов вели

в основном ставными неводами. Пассивный характер этих орудий лова вполне позволяет использовать величину уловов для оценки динамики подходов горбуши к побережью. Число выловленных рыб рассчитано делением биомассы вылова за соответствующую пятидневку (шестидневку в конце июля и августа) на осреднённое по биологическим анализам для этой пятидневки значение массы горбуши. Численность производителей, пропущенных на нерестилища, рассчитана стандартными методами [Каев, Klovach, 2014<sup>1</sup>; Каев, Irvine, 2016] по данным визуального подсчёта рыб в реках сотрудниками Сахалинского филиала ФГБУ «Главрыбвод». Ожидаемая сезонная динамика подхода горбуши в зону промысла рассчитана на основе средней для трёх предыдущих циклических поколений, то есть по динамике вылова в 2018, 2020 и 2022 гг. Для характеристики сезонной динамики покатной миграции молоди в 2017, 2019, 2021 и 2023 гг. использованы опубликованные данные по рекам Даги, Малая Хузи, Пугачёвка, Вознесенка, Очепуха и Рыбацкая [Каев и др., 2017, 2020, 2024; Кириллов и др., 2018; Кириллова, 2019, 2022]. При расчёте динамики ската молоди в целом из рек северо-восточного побережья Сахалина данные по рекам Даги и М. Хузи использованы в соотношении 1:2 в соответствии с примерным соотношением численности горбуши в северной и южной части этого побережья. Вследствие такой же ситуации на юго-восточном побережье острова привлечены данные по одной реке (Пугачёвка) в северной части и по двум рекам (Вознесенка и Очепуха) в южной части этого побережья (рис. 1). При сопоставлении динамик покатной миграции молоди и последующего вылова при возврате взрослых рыб их продолжительность нормирована к 35 суткам, статистическая достоверность между распределениями их значений в этих рядах оценена по критерию Колмогорова-Смирнова  $\lambda$  [Плохинский, 1970].

Из биологических показателей горбуши рассмотрены длина рыб по Смитту (FL, см), доля самцов в пробах и относительная индивидуальная плодовитость самок (ОИП), рассчитанная как отношение их абсолютной индивидуальной плодовитости к длине тела (АИП/FL). Изменения этих показателей позволяют определить временные интервалы, в течение которых в подходах доминирует сначала ранняя, а затем поздняя темпоральная форма горбуши. С подходом поздней формы происходит заметное увеличение длины рыб в уловах (особенно самцов) и «сбой» в динамике постепенного снижения доли самцов в течение сезо-

<sup>1</sup> Kaev A.M., Klovach N.V. 2014. Revision of data on pink salmon abundance in East Sakhalin and Kuril Islands // NPAFC Doc. № 1501. 12 pp.

на, так как в авангардной части нерестового потока каждой из этих форм по численности доминируют самцы в соответствии с протандрией, присущей тихоокеанским лососям [Morbey, 2000]. Кроме того, ОИП у самок поздней формы меньше [Каев, 2012]. Расчёт средних значений биологических показателей рыб, характеризующих в целом возврат поколения горбуши, выполнен по принципу средневзвешенного значения каждого показателя относительно динамики промысловых уловов ставными неводами по пятидневкам.

Приводимые данные по о. Итуруп относятся к охотоморскому побережью острова, в реках которого воспроизводится промысловый запас горбуши данного стада [Каев, 2022]. На восточном побережье Сахалина по основным биологическим характеристикам рыб и типу динамики стада выделяют четыре группировки горбуши, считая их локальными стадами [Иванков, 1993, 2011] и, естественно, принимая их за отдельные единицы запаса [Каев, 2007]. Это горбуша северо-восточного и юго-восточного побережья острова и заливов Терпения и Анива (рис. 1). В дан-

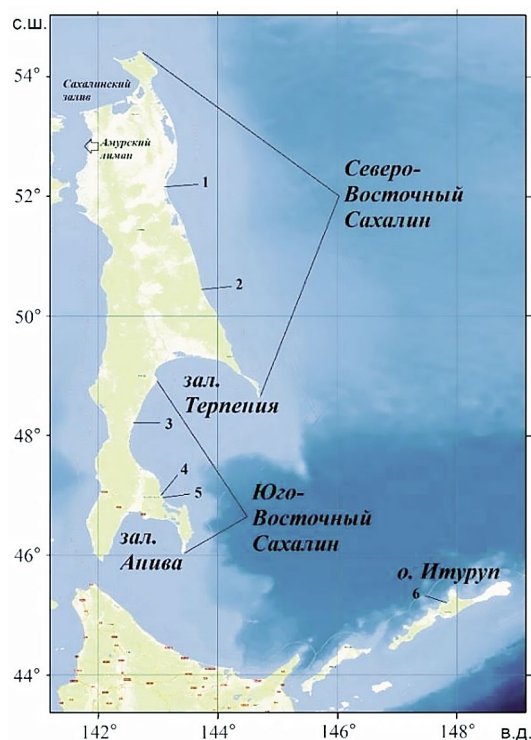
ном сообщении мы не рассматриваем особенности промысла горбуши в зал. Терпения из-за отсутствия корректных данных по динамике её подходов и биологическим показателям рыб.

Статистическая обработка выполнена в программе Microsoft Office Excel с использованием следующих символов:  $M$  – среднее значение,  $SD$  – стандартное отклонение,  $n$  – объём выборки,  $p$  – уровень значимости нуль-гипотезы. Достоверность различий между средними значениями распределений признаков оценена по критерию Фишера ( $F$ ).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

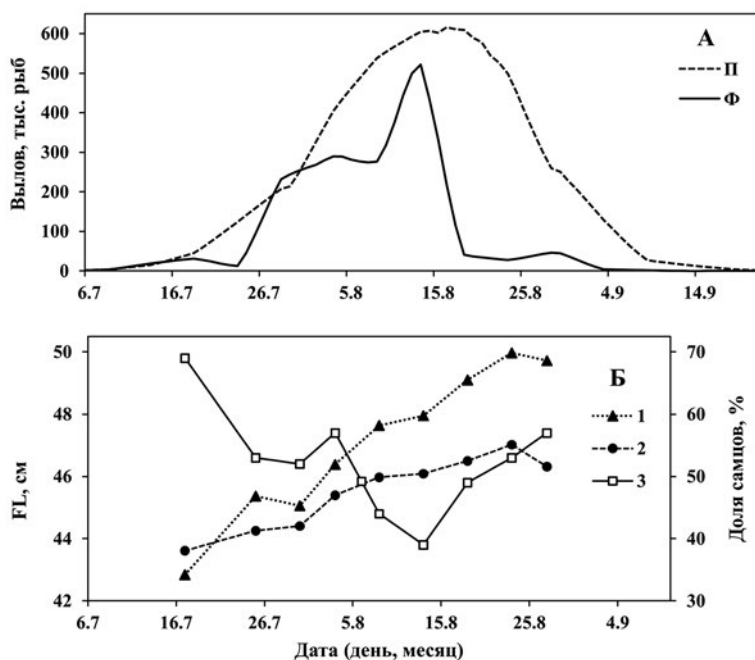
Подход горбуши на восточное побережье Сахалина в соответствии с прогнозом ожидали в объёме 42,24 млн рыб, из которых к промысловому изъятию рекомендовали 32,86 млн рыб. Итоговый вылов составил 23,88 млн рыб, или около 73% от прогноза. В то же время соотношение между ожидаемыми и фактическими уловами рыб этого вида существенно менялось в разных районах побережья.

На Северо-Восточном Сахалине уловы горбуши до середины августа незначительно отличались от ожидаемых, но затем последовал их резкий спад (рис. 2 А). В середине августа произошла смена траектории в динамике изменения полового состава рыб, доля самцов стала увеличиваться. Принимая во внимание также появление во второй половине августа наиболее крупных рыб, особенно самцов (рис. 2 Б), можно полагать, что в это время горбуша была представлена уже преимущественно особями поздней темпоральной формы. На начавшееся доминирование этой формы указывает также величина ОИП самок. В первых шести пробах, взятых до середины августа, её значения находились в пределах от 34,3 до 37,3 икринок, составив в среднем 35,1 икринок. В следующих трёх пробах проявилась хорошо выраженная тенденция к уменьшению значений этого показателя – 33,7, 32,5 и 31,4 икринок, соответственно 18, 23 и 27 августа. Вследствие резкого прекращения с середины августа массовых подходов горбуши и недостаточного количества производителей, зашедших в реки к этому времени, на Комиссии по регулированию добычи (вылова) анадромных видов рыб в Сахалинской области было принято решение (протокол № 37 от 22.08.2024) о введении ограничений промысла в виде проходных дней в режиме 3 дня пропуска, 4 дня промысла в неделю. Однако слабые подходы горбуши во второй половине августа не смогли восполнить образовавшийся дефицит. В реки зашло лишь 1641 тыс. производителей против определённых в прогнозе к пропуску 4200 тыс. В процессе промысла выловлено



**Рис. 1.** Районы воспроизводства локальных стад горбуши на Восточном Сахалине и о. Итуруп: 1-6 – районы впадения контрольных рек Даги (1), М. Хузи (2), Пугачёвка (3), Вознесенка (4), Очепуха (5) и Рыбацкая (6)

**Fig. 1.** Reproduction areas of pink salmon local stocks in Eastern Sakhalin and Iturup Island: 1-6 – areas of confluence of the control rivers Dagi (1), M. Khuzi (2), Pugachevka (3), Voznesenka (4), Ocherukha (5) and Rybatskaya (6)



**Рис. 2.** Динамика прогнозируемого и фактического вылова горбуши (А), длины тела рыб и их половой состав (Б) на Северо-Восточном Сахалине в 2024 г.: П – прогноз, Ф – факт, 1 и 2 – длина тела самцов (1) и самок (2), 3 – доля самцов

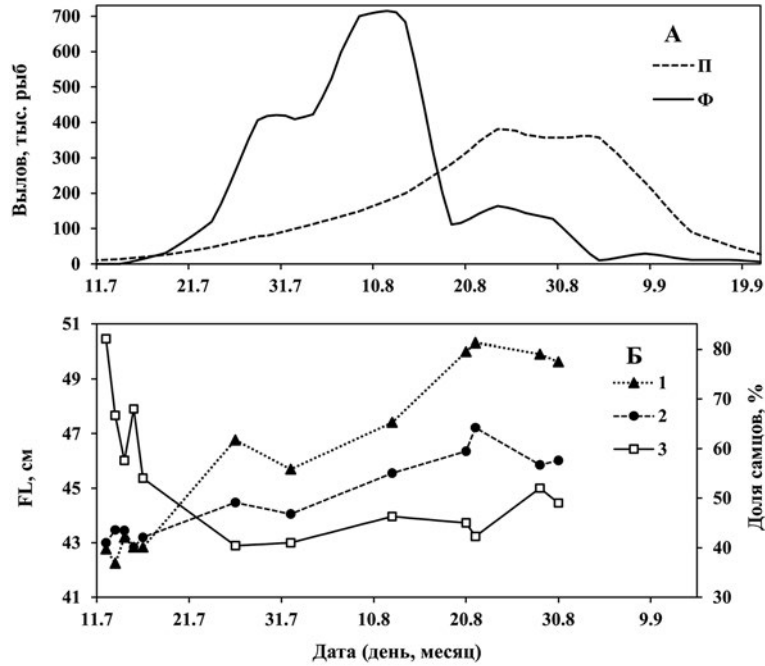
**Fig. 2.** Dynamics of predicted and actual pink salmon catch (A), fish body length and sex ratio (Б) in Northeast Sakhalin in 2024: П – predicted, Ф – actual, 1 and 2 – body length of males (1) and females (2), 3 – proportion of males

7949 тыс. рыб при прогнозе 17891 тыс. Таким образом, возврат данного поколения был более чем вдвое меньше ожидаемого (9590 против 22091 тыс. рыб). Во всех пробах, начиная с третьей декады июля, самцы были крупнее, в результате в среднем за период хода длина самцов составила 47,0 см против 45,6 см у самок.

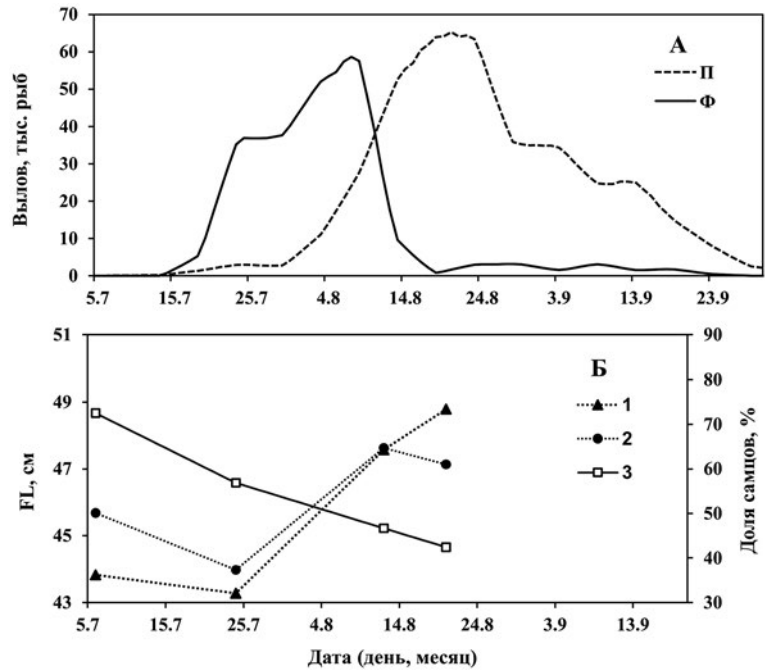
На Юго-Восточном Сахалине к середине августа уловы горбуши многократно превысили прогнозные ожидания, после чего последовал резкий спад её подходов (рис. 3 А). Судя по появлению в уловах в третьей декаде августа крупных самцов и «сбое» в динамике снижения доли самцов (рис. 3 Б), в подходах горбуши в это время стали доминировать рыбы поздней темпоральной формы. Однако численность их была довольно низкой. Небольшой пик, обозначившийся в динамике уловов в третьей декаде августа, на 76% был сформирован изъятием горбуши в реках, то есть отчасти тех рыб, подход которых обусловил наибольший вылов в морских водах ставными неводами в третьей пятидневке этого месяца. При прогнозе 12466 тыс. выловлено 14697 тыс. рыб. На нерестилища рек пропущено 4124 тыс. производителей, что близко к прогнозируемой величине (4710 тыс.). Этот заход обеспечил плотность заполнения нерестилищ в реках (1,98 рыб./м<sup>2</sup>), близкую к норме [Рухлов, 1972], за исключением нерестилищ в крупнейшей на

данном побережье р. Найба (0,008 рыб./м<sup>2</sup>), в которую уже в течение 10 лет горбуша почти не заходит, несмотря на принятие мер, благоприятствующих её пропуску. Таким образом, возврат данного поколения был несколько выше прогноза (18821 и 17176 тыс. рыб, соответственно). Попеременное доминирование по длине тела рыб разного пола наблюдалось только во второй декаде июля, в последующих пробах самцы были крупнее, в результате в среднем за период хода длина самцов составила 46,8 см против 45,0 см у самок.

В зал. Анива в последней декаде июля и в первой декаде августа уловы горбуши многократно превысили прогнозные ожидания, после чего последовал резкий спад её подходов (рис. 4 А). В результате пик вылова пришёлся на сроки, в которые ранее только начинались массовые подходы горбуши. В уловах в третьей декаде августа рыбы (особенно самцы) стали существенно крупнее, что свидетельствовало о появлении в подходах особей поздней темпоральной формы. Однако в это время не наблюдался характерный «сбой» в динамике соотношения самцов и самок (рис. 4 Б). В то же время в последней пробе отмечено минимальное значение ОИП (27,1 икринок) в сравнении с четырьмя предыдущими пробами (от 27,8 до 33,2, в среднем 31,7 икринок). Прогнозируемый вылов был определён в объёме 1904 тыс. рыб при пропуске



**Рис. 3.** Динамика прогнозируемого и фактического вылова горбуши (А), длины тела рыб и их половой состав (Б) на Юго-Восточном Сахалине в 2024 г.: П – прогноз, Ф – факт, 1 и 2 – длина тела самцов (1) и самок (2), 3 – доля самцов  
**Fig. 3.** Dynamics of predicted and actual pink salmon catch (A), fish body length and sex ratio (Б) in Southeast Sakhalin in 2024: П – predicted, Ф – actual, 1 and 2 – body length of males (1) and females (2), 3 – proportion of males



**05-04**

**Рис. 4.** Динамика прогнозируемого и фактического вылова горбуши (А), длины тела рыб и их половой состав (Б) в зал. Анива в 2024 г.: П – прогноз, Ф – факт, 1 и 2 – длина тела самцов (1) и самок (2), 3 – доля самцов  
**Fig. 4.** Dynamics of predicted and actual pink salmon catch (A), fish body length and sex ratio (Б) in Aniva Bay in 2024: П – predicted, Ф – actual, 1 and 2 – body length of males (1) and females (2), 3 – proportion of males

в реки на нерест 4000 тыс. производителей. Фактически эти величины составили, соответственно, 1103 и 1055 тыс. рыб. Таким образом, возврат данного поколения был в 2,7 раз ниже прогноза (2158 против 5904 тыс. рыб). В начале промысловых подходов самцы были мельче, а при завершении уже мельче были самки (рис. 4 Б), однако в среднем рыбы разного пола не различались по данному показателю (соответственно 46,1 и 46,2 см).

На о. Итуруп массовый подход рыб к побережью начался с середины июля, который сразу же по своей интенсивности превысил прогнозные ожидания. В конце июля и в первой декаде августа уловы достигли наибольших значений, после чего последовал их быстрый спад вплоть до почти полного отсутствия в некоторые дни, начиная с середины августа (рис. 5А). После снижения уловов в них отмечено появление крупных рыб, а также проявился характерный «сбой» в динамике полового соотношения рыб (рис. 5Б), что свидетельствовало о превалировании в подходах уже рыб поздней темпоральной формы. На это указывало также снижение величины ОИП у рыб в последней пробе (27,0 икринок) в сравнении с предыдущими пробами, в которых изменения этого показателя происходили в небольшом диапазоне (от 29,1 до 32,7, в среднем 30,7 икринок). Прогнозируемый вылов был определён в объёме 7885 тыс. рыб при пропуске

в реки на нерест 1700 тыс. производителей. Фактически эти величины составили, соответственно, 2289 и 200 тыс. рыб. Таким образом, возврат данного поколения был в 3,9 раз ниже прогноза (2489 против 9585 тыс. рыб). Средняя длина самцов и самок в возврате была практически одинаковой, соответственно, 45,8 и 45,9 см.

Зачастую наблюдаемые расхождения ожидаемой и фактической численности возврата горбуши обусловлены множеством разного рода факторов, с воздействием которых связана выживаемость лососей [Коновалов, 1985]. Многие из этих факторов вследствие наличия только косвенных оценок их действия не учитываются при подготовке прогнозов. К тому же связи лососей со средой обитания не только многообразны, но и весьма изменчивы, в результате чего их вариабельность обуславливает неодинаковую цикличность в динамике численности разных популяций и видов, живущих в одних и тех же экосистемах [Шунтов, 2000; Шунтов, Темных, 2011]. Кроме того, наряду с проявлением глобальных процессов в экосистемах, на условия обитания и выживания не меньшее или даже большее влияние оказывают провинциальные процессы, развитие которых может не соответствовать глобальным событиям [Шунтов и др., 2019]. Также очевидно, что ключевой проблемой прогнозов является точность первичных данных [Островский,

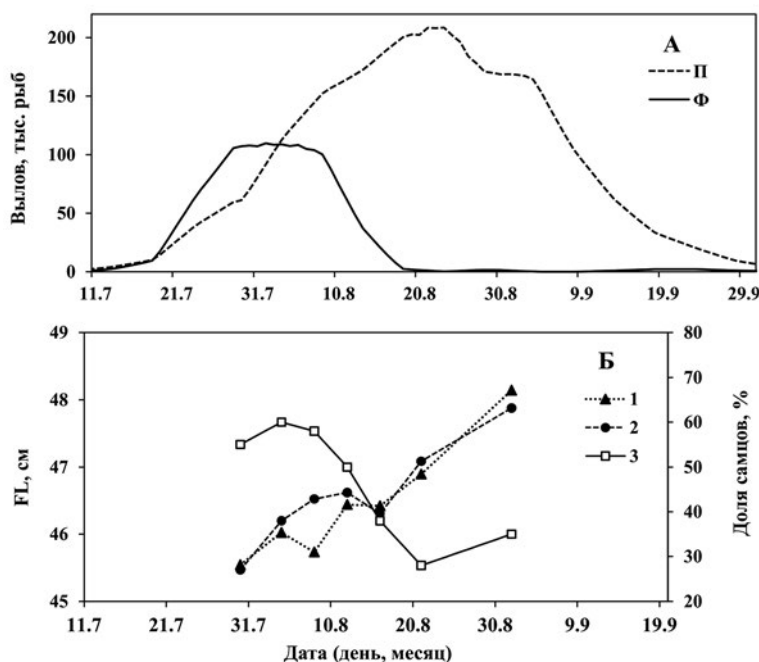


Рис. 5. Динамика прогнозируемого и фактического вылова горбуши (А), длины тела рыб и их половой состав (Б) на о. Итуруп в 2024 г.: П – прогноз, Ф – факт, 1 и 2 – длина тела самцов (1) и самок (2), 3 – доля самцов

Fig. 5. Dynamics of predicted and actual pink salmon catch (A), fish body length and sex ratio (Б) on Iturup Island in 2024: П – predicted, Ф – actual, 1 and 2 – body length of males (1) and females (2), 3 – proportion of males

2007], некорректность которых стала одной из причин низкой оправдываемости прогнозов возможного вылова горбуши в Сахалино-Курильском регионе в отдельные годы [Каев, Самарский, 2024]. С учётом многих неопределённостей, сопровождающих прогностические расчёты, можно полагать, что успешной реализацией прогноза следует считать верное определение тенденции изменения численности прогнозируемого поколения. Неизбежные отклонения в абсолютных значениях возврата горбуши в таких ситуациях не являются фатальными для ведения промысла. Его режим успешно регулируется оперативными рекомендациями, разрабатываемыми на основе анализа текущих уловов, биологических показателей рыб и ожидаемой динамикой подхода горбуши к побережью [Каев и др., 2023].

Данные по численности молодежи, скатившейся с нерестилищ и выпущенной с лососевых рыбозаводов в 2023 г. [Каев и др., 2024] не предвещали снижения численности данного поколения. Так, суммарная численность покотников в реках Восточного Сахалина (993 млн) почти вдвое превышала таковую у родительского поколения (530 млн) и была на уровне среднего значения четырёх предыдущих циклических поколений (992 млн). Суммарная численность покотников в реках о. Итуруп (418 млн) хотя и была несколько ниже её среднемноголетнего значения (477 млн), но также превосходила их численность у родительского поколения (325 млн). Прогностические расчёты возврата горбуши в 2024 г. в целом отражали данную ситуацию. Более того, уловы горбуши в июле и в начале августа либо соответствовали прогнозным ожиданиям (рис. 2), либо значительно их превосходили (рис. 3, 4 и 5). В дальнейшем произошло кардинальное изменение промысловой обстановки в связи с прекращением во второй половине августа сколь-нибудь значимых подходов горбуши.

Судя по динамике уловов, может сложиться впечатление о кратковременном и рано завершившемся ходе горбуши в 2024 г. Но это не так, если принять во внимание ход рыб разных темпоральных форм. Наиболее продолжительные периоды их изучения были в зал. Анива (34 года) и на о. Итуруп (43 года). Смена доминирования в подходах горбуши с ранней на позднюю форму в зал. Анива происходила между 25 июля и 6 августа (в среднем 2 августа), на о. Итуруп – между 1 и 26 августа (в среднем 11 августа). Численность рыб поздней формы была обычно выше, составляя в среднем для этих районов 75,8 и 80,2%, хотя в некоторые годы по численности доминировали рыбы ранней формы [Каев, 2012]. Вполне естественно, что при критически низкой численности рыб поздней

формы в 2024 г. сроки их доминирования в подходах сместились на более поздние даты. Также следует отметить, что при многократной разнице по численности рыб разных темпоральных форм в подходах критерии, используемые для определения даты смены этих форм, становятся менее явными. Например, в данном случае увеличение доли самцов с началом подхода рыб поздней формы остаётся незамеченным на фоне постепенного снижения их доли в течение хода многочисленной группировки рыб ранней формы. Лишь только ко времени завершения подходов рыб этой формы происходило увеличение доли самцов как отражение продолжающегося хода рыб поздней формы. Этот эффект не зафиксирован лишь в зал. Анива из-за отсутствия биологических анализов рыб во второй половине обычных календарных сроков хода горбуши в этом районе (рис. 4).

Столь явное доминирование по численности рыб ранней формы в возврате горбуши в 2024 г. отмечено впервые за годы проведения мониторинга состояния ресурсов этого вида. Причём к настоящему времени нет каких-либо фактологических данных, которыми можно объяснить этот феномен. Соотношение численности разных темпоральных форм в стадах горбуши определяется преимущественно условиями воспроизводства в пресноводном цикле [Skud, 1955; Каев, Ромасенко, 2017]. Это соотношение изначально закладывается численностью представителей разных темпоральных форм среди производителей, которое в дальнейшем может значительно изменяться под воздействием паводков во время нереста и штормовых условий в морском побережье в период ската молодежи из рек [Каев, 2019 а]. Судя по тому, что динамика нерестового хода производителей и покотной миграции молодежи в определённой мере сходны, данные по скату молодежи в 2023 г. не показали резких изменений в соотношении темпоральных форм (рис. 6).

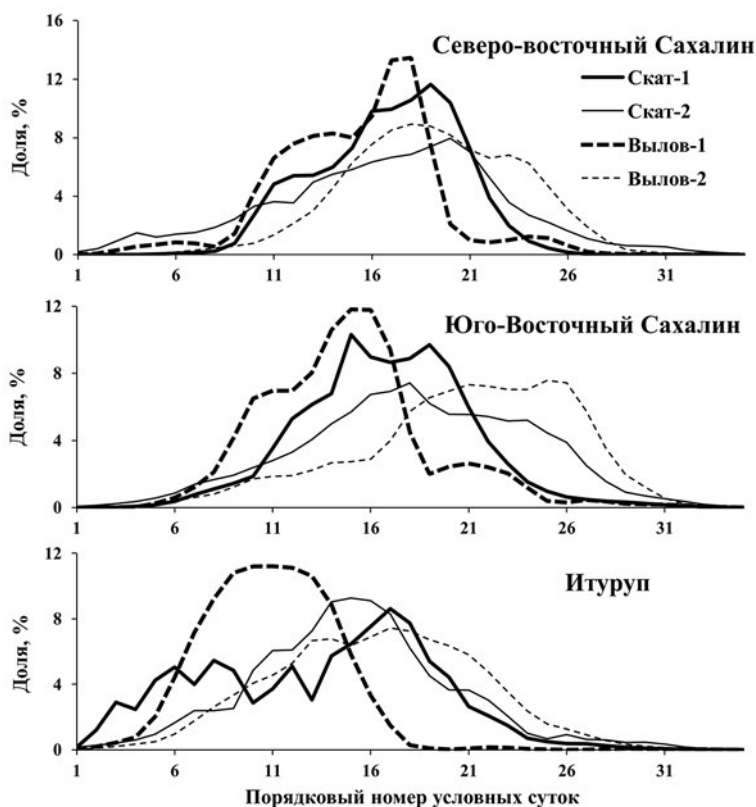
При статистической оценке расхождений между сезонными динамиками вылова горбуши в разные годы использованы данные по уловам ставных неводов, так как эти уловы фактически отражают динамику подходов горбуши к побережью. Уровень различий по критерию  $\lambda$  между динамикой вылова в 2024 г. в сравнении с динамиками в каждом из трёх предыдущих циклических лет ( $M = 3,51$ ;  $SD = 1,050$ ;  $n = 9$ ) существенно выше ( $F = 18,6$ ;  $p < 0,01$ ), чем при сопоставлении между собой динамик в эти предыдущие годы ( $M = 1,54$ ;  $SD = 0,876$ ;  $n = 9$ ). При аналогичном сравнении динамик покотной миграции в 2017, 2019, 2021, 2023 гг. между средними значениями  $\lambda$  в первой ( $M = 1,35$ ;  $SD = 0,554$ ;  $n = 9$ ) и второй ( $M = 1,54$ ;  $SD = 0,575$ ;  $n = 9$ ) группах лет статистически подтверж-

дённых различий не выявлено ( $F = 0,5; p > 0,05$ ). Такой характер распределений позволяет рассматривать динамику ската молоди и последующего возврата взрослых рыб по отношению к средним значениям этих параметров трёх предыдущих циклических поколений.

Во всех изученных районах не выявлено существенных расхождений по динамике покатной миграции молоди в 2023 г. с таковой в среднем для трёх предыдущих циклических поколений (значения  $\lambda$  от 0,86 до 1,39). Для этих трёх предыдущих поколений не выявлено также значимых расхождений между динамиками ската молоди и последующих уловов при возврате взрослых рыб (значения  $\lambda$  от 0,95 до 1,58). В то же время обнаружены высокой степени достоверности различия между динамиками ската молоди в 2023 г. и вылова горбуши в 2024 г. на о. Итуруп ( $\lambda = 2,64; p < 0,001$ ) и Юго-Восточном Сахалине ( $\lambda = 1,76; p < 0,01$ ). Расхождение между аналогичными распределениями на Северо-Восточном Сахалине статистически менее значимы ( $\lambda = 1,49; p < 0,05$ ), что вполне соответствует, как будет показано ниже, более высокой

доле рыб поздней формы в возврате горбуши в этот район.

Судя по данным гидрометеорологических постов (ГМП, сайт «Расписание погоды»: <http://rp5.ru>), в населённых пунктах Ноглики (ГМП 32053), Пограничное (ГМП 32076), Макаров (ГМП 32116), Стародубское (ГМП 32136), Корсаков (ГМП 32156) и Курильск (ГМП 32174) не зафиксировано сильных ветров и, как следствие, штормовых условий в прибрежных морских водах, которые могли существенно отразиться на выживаемости скатившейся из рек молоди. Так, наибольшие среднесуточные порывы ветра на северо-восточном побережье Сахалина наблюдались 17 мая (13,3 м/с), на его юго-восточном побережье и в зал. Анива – 25 и 26 мая (14,4 и 15,4 м/с) и на о. Итуруп – 3 июня (13,1 м/с). Эти значения ниже использованных (>16 м/с) при проверке версии о негативном влиянии штормов на выживаемость недавно скатившейся молоди [Каев, 2018]. К тому же штормовые условия в указанные даты могли негативно сказаться на выживаемости ранней, но не поздней темпоральной формы горбуши.



**Рис. 6.** Динамики покатной миграции молоди и последующего вылова взрослых рыб при возврате данного поколения горбуши в 2024 г. (1) и в среднем для предыдущих циклических поколений с возвратом рыб в 2018, 2020, 2022 гг. (2) в разных районах Восточного Сахалина и о. Итуруп

**Fig. 6.** Dynamics of fry downstream migration and subsequent catch of adult fish when this pink salmon generation returns in 2024 (1) and on average for previous cyclic generations with fish returns in 2018, 2020, 2022 (2) in different areas of Eastern Sakhalin and Iturup Island

К большой смертности скатившейся из рек молоди могут приводить чрезмерно холодные прибрежные морские воды в сочетании с наличием льдов [Карпенко, 1998; Канзепарова и др., 2013]. Такие условия негативно отражаются на выживаемости поколений горбуши на северо-восточном и в значительно меньшей степени – на юго-восточном побережье Сахалина [Гриценко, 2002; Каев, 2019 в], не говоря уже об о. Итуруп. Несостоятельность этой версии для рассматриваемой нами ситуации следует из синхронного во всех районах снижения интенсивности подходов горбуши в середине августа. К тому же численность рыб ранней темпоральной формы превысила ожидаемую, в то время как вероятность негативного воздействия на её молодь таких условий выше, учитывая её более ранний скат.

Нет оснований также предполагать, что сеголетки поздней темпоральной формы сахалино-курильской горбуши попали в особенные условия после отколёвки из прибрежных вод, так как во время летне-осеннего нагула потомство всех темпоральных форм различных стад находится в едином скоплении в центрально-юго-восточной части Охотского моря [Шунтов, Темных, 2008; Сомов и др., 2024]. Аналогичная ситуация наблюдается в период зимовки и последующей миграции в океанических водах в направлении проливов между островами Большой Курильской Дуги [Шунтов, Темных, 2011; Найденко, Темных, 2016].

Рассматривая вопрос о резком сокращении численности поздней темпоральной формы горбуши на Восточном Сахалине и о. Итуруп, в то время как высокая численность её ранней формы вполне соответствовала сравнительно большой численности покатной молоди данного поколения, нельзя исключать возможность массового стрейнга. В соответствии с гипотезой «флуктуирующего стада горбуши» у этого вида тихоокеанских лососей возможны масштабные перераспределения нерестовых потоков рыб между районами воспроизводства разных стад [Глубоковский, Животовский, 1986; Зеленина и др., 2022]. Примером такого редкого явления была, возможно, ситуация с непредвидимым резким сокращением численности горбуши в 2014 г. на о. Итуруп и с синхронным по времени её нерестового хода появлением дополнительного позднего пика в динамике уловов рыб этого вида в южной части о. Сахалин. Причём часть рыб из этих поздних уловов отличалась от остальных по особенностям структуры чешуи и значениям относительной индивидуальной плодовитости самок, соответствуя по этим показателям горбуше о. Итуруп [Каев, Животовский, 2016].

Снижение численности поздней формы горбуши в большей степени произошло в южных районах региона, о чём можно ориентировочно судить по доле её вылова ставными неводами, начиная с середины августа. На о. Итуруп такая доля составила 1,4%, в зал. Анива – 2,0%, на юго-восточном и северо-восточном побережье Сахалина – 8,8 и 8,1%. Наиболее высокая доля вылова в этот период на Юго-Восточном Сахалине связана с одновременным ведением промышленного лова в прибрежной зоне и отловом рыб в реках, то есть рыб, мигрировавших через зону постановки ставных неводов ориентировочно на пять дней ранее [Каев и др., 2004]. В свою очередь, такая ориентировочная оценка доли рыб поздней темпоральной формы в уловах на Северо-Восточном Сахалине явно занижена по причине того, что подходы горбуши к нему приходится несколько на более ранние даты в сравнении с её подходами к его юго-восточному побережью острова [Каев, Кловач, 2014]. Судя по двукратному увеличению уловов в третьей пятидневке августа в сравнении с предыдущей пятидневкой, можно полагать, что этот прирост частью мог быть обусловлен подходом рыб поздней формы. Это предположение основывается, в частности, на появлении перед этим приростом кратковременного «сбоя» в динамике снижения доли самцов в отобранных пробах горбуши (рис. 2).

С учётом отмеченной тенденции увеличения доли рыб поздней темпоральной формы в северном направлении от о. Итуруп и далее по сахалинскому побережью возникает вопрос об особенностях подходов горбуши к Северо-Западному Сахалину (побережье Сахалинского залива и Амурского лимана). Здесь уловы с начала промысла также опережали прогнозные ожидания, но, в отличие от Восточного Сахалина, это опережение сохранилось почти до конца среднеголетних сроков подхода горбуши (рис. 7). Сроки хода горбуши на Северо-Западном Сахалине сдвинуты на более ранние даты в сравнении с Восточным Сахалином. В её миграционном потоке также просматривается ход разных темпоральных форм, причём, в чётные годы по численности несколько доминировали рыбы ранней формы [Каев, 2019 б]. В 2024 г., судя по динамике вылова горбуши на побережье и биологическим показателям рыб (табл. 1, пробы отобраны из уловов ставного невода в северной части сахалинского побережья Амурского лимана), смена доминирования с ранней на позднюю форму произошла между 7 и 10 августа, то есть, в этом году численность рыб ранней формы также была несколько выше. Причём, у побережья Сахалинского залива в большей мере ловили рыб поздней формы, а на побережье Амурско-

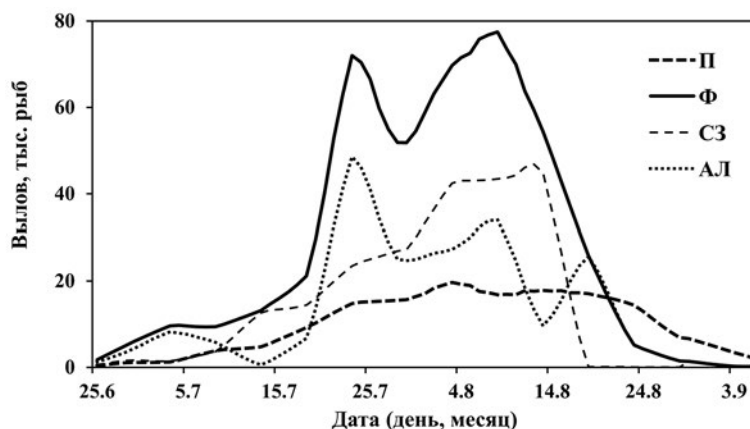


Рис. 7. Динамика прогнозируемого и фактического вылова горбуши на Северо-Западном Сахалине: П – прогноз; Ф – вылов, в том числе в Сахалинском заливе (СЗ) и Амурском лимане (АЛ)

Fig. 7. Dynamics of forecast and actual pink salmon catches in North-West Sakhalin: П – forecast; Ф – catch, including in Sakhalin Bay (СЗ) and Amur Liman (АЛ)

Таблица 1. Биологические показатели горбуши из уловов ставного невода на северо-западном побережье Сахалина в 2024 г.

Table 1. Biological indices of pink salmon from trap-net catches on the north-west coast of Sakhalin in 2024

Показатели		7 августа	10 августа	14 августа
Длина FL, см:	самцы	44,5	45,5	46,1
	самки	43,1	43,9	44,4
Доля самцов, %		64,0	78,0	74,0
ОИП (АИП/FL), икр.		27,1	25,3	22,1

го лимана, напротив, ранней. Это расхождение будет выглядеть ещё более явно, если сместить на какое-то количество дней один из локальных графиков с учётом того, что горбуше до подхода в Амурский лиман требуется время для миграции вдоль северного побережья острова.

Приведённые данные по промыслу преимущественно ставными неводами горбуши на Северо-Западном Сахалине показали, что в 2024 г. в этой части острова сезонная динамика подходов рыб этого вида кардинально не отличалась от таковой предыдущих циклических поколений. Судя по оперативным данным Росрыболовства, не было существенных отличий по динамике вылова горбуши в 2024 г. от таковой в 2020 и 2022 гг. также и в других районах воспроизводства её крупных группировок в бассейне Охотского моря – на Западной Камчатке и северо-охотоморском побережье в пределах административных границ Магаданской области и Хабаровского края.

Резкое снижение в 2024 г. численности рыб поздней темпоральной формы относительно ранней формы привело к уменьшению средних размеров

рыб в подходах в целом, так как рыбы ранней формы обычно мельче. По этой причине средняя длина рыб в рассмотренных районах в возврате данного поколения в основном была меньше, чем в среднем при возвратах ряда предыдущих циклических поколений (табл. 2). В то же время разница между средними значениями длины рыб в 2024 г. и в 2010-2022 гг. уменьшается по районам в северном направлении, то есть в направлении увеличения доли поздней формы в возвратах горбуши в эти районы. Вплоть до того, что на северо-восточном побережье Сахалина горбуша в 2024 г. была даже несколько крупнее, чем в среднем за предыдущие чётные годы. Причина изменения размеров рыб в подходах становится понятна при сопоставлении длин горбуши во второй половине июля и августа, то есть в какой-то мере отражающих размеры рыб разных темпоральных форм в их подходах в разные районы. Во всех районах во второй половине июля длина рыб в 2024 г. была не только меньше её среднего значения в чётные 2010-2022 годы, но и была ближе к её минимальным значениям за этот период. Совершенно противоположными выглядят результаты при аналогичном сопоставлении длин

**Таблица 2.** Средняя длина горбуши (FL, см) в разных районах Восточного Сахалина и на о. Итуруп в 2024 г. и в чётные 2010-2022 гг.

**Table 2.** Mean pink salmon length (FL, cm) in different areas of Eastern Sakhalin and Iturup Island in 2024 and in even years 2010-2022

Район	2024 г.	Чётные 2010-2022 гг.	
		Среднее	Пределы
Весь период хода			
Северо-Восточный Сахалин	46,3	46,1	43,3-48,0
Юго-Восточный Сахалин	45,8	46,3	44,7-47,7
Зал. Анива	46,1	47,2	44,3-50,0
Итуруп	45,8	48,3	46,3-51,1
Период с 16 по 31 июля (верхнее значение) и с 16 по 31 августа (нижнее значение)			
Северо-Восточный Сахалин	45,0	45,6	42,8-47,5
	48,1	46,3	43,8-48,3
Юго-Восточный Сахалин	44,3	45,2	43,1-46,6
	48,0	47,0	44,9-48,9
Зал. Анива	44,6	45,6	43,5-46,5
	47,8	47,5	44,5-50,5
Итуруп	45,5	47,6	45,3-50,3
	47,0	48,3	46,3-51,0

во второй половине августа. Уже в южном направлении происходит уменьшение разницы между длиной рыб в 2024 г. и её средним значением за предыдущие годы, а на о. Итуруп рыбы в 2024 г. оказались даже мельче. Наибольший прирост во второй половине августа длины рыб по отношению к средней длине за предыдущие годы произошёл на Северо-Восточном Сахалине. Это, наряду с минимальной разницей по таким значениям длин во второй половине июля, и послужило причиной того, что при преимущественном возврате в 2024 г. рыб ранней формы как более мелких в сравнении с поздней формой, средняя длина рыб в возврате этого поколения на Северо-Восточный Сахалин была больше, чем в среднем у рыб предыдущих циклических поколений.

Особенности размерного состава горбуши в рассмотренных районах в 2024 г. стали хорошей иллюстрацией того, что длина рыб в возвратах поколений этого вида во многом определяется соотношением численности ранней и поздней темпоральных форм этого вида [Каев, 2012]. В свою очередь, эти данные, наряду с динамикой полового состава рыб и относительной плодовитости самок, показали, что сравнительно большие уловы в июле и последующее их резкое снижение с середины августа не означали сме-

щение сроков хода горбуши на более ранние даты, а стало следствием крайне низкой численности в подходах рыб поздней темпоральной формы.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Динамика вылова горбуши на Восточном Сахалине и о. Итуруп связана с последовательным подходом рыб двух темпоральных форм – ранней и поздней. В соответствии со сравнительно высокой численностью покатной молодежи в 2023 г. подход рыб ранней формы в 2024 г. обусловил значительное превышение уловов в сравнении с прогнозными ожиданиями. Однако с завершением миграции рыб этой темпоральной формы дальнейшие подходы горбуши резко сократились вплоть до почти полного прекращения уловов ставными неводами. В результате сезонная динамика возврата рыб этого поколения приобрела уникальный характер за весь период ежегодного мониторинга состояния стад горбуши в этих районах. Полученные в ходе мониторинга данные по оценке численности покатной молодежи и динамике её ската, по воздействию экстремальных факторов среды в период нагула молодежи в прибрежных морских водах не дают оснований для объяснения возникновения данного феномена. Как и условия обитания данного по-

коления в открытых морских водах, исключаящих высокую избирательную смертность рыб одной из темпоральных форм. Не исключено, что данный феномен стал следствием «сбоя» миграционного механизма в соответствии с известной гипотезой «флуктуирующего стада горбуши», в результате которого основная часть рыб поздней темпоральной формы не вернулась в районы своего происхождения.

### Благодарности

Авторы выражают благодарность многочисленным сотрудникам сахалинских филиалов ВНИРО и «Главрыбвод» за проведение биологических анализов горбуши в процессе промысла горбуши на островах Сахалин и Итуруп в 2024 г.

### Конфликт интересов

Авторы данной работы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Соблюдение этических норм

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

### Финансирование

Работа не имела дополнительного спонсорского финансирования.

### ЛИТЕРАТУРА

- Глубоковский М.К., Животовский Л.А. 1986. Популяционная структура горбуши: система флуктуирующих стад // Биология моря. № 2. С. 39-44.
- Глубоковский М.К., Животовский Л.А. 2024. Новый вид тихоокеанских лососей – горбушка Крашенинникова *Oncorhynchus gorbuschka* sp. nova: Описание и генезис таксона // Биология моря. Т. 50. № 2. С. 164-176. DOI: 10.31857/S0134347524020073.
- Гриценко О.Ф. 1981. О популяционной структуре горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) // Вопросы ихтиологии. Т. 21. Вып. 5. С. 787-799.
- Гриценко О.Ф. 1990. Популяционная структура сахалинской горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* // Вопросы ихтиологии. Т. 30. Вып. 5. С. 825-835.
- Гриценко О.Ф. 2002. Проходные рыбы острова Сахалин (систематика, экология, промысел). М.: Изд-во ВНИРО, 248 с.
- Зеленина Д.А., Л. Животовский Л.А., Сошнина В.А., Вилкова О.Ю., Глубоковский М.К. 2022. Внутривидовая дифференциация азиатской горбуши по данным о последовательности митохондриального гена СУТВ // Генетика. Т. 58. № 11. С. 1280-1291. DOI: 10.31857/S0016675822110145.
- Иванков В.Н. 1967. О сезонных расах горбуши // Известия ТИНРО. Т. 61. С. 143-151.
- Иванков В.Н. 1993. Популяционная организация у тихоокеанских лососей с коротким пресноводным периодом жизни // Вопросы ихтиологии. Т. 33. № 1. С. 78-83.
- Иванков В.Н. 2011. Внутривидовая дифференциация и популяционная организация горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* в различных частях ареала // Известия ТИНРО. Т. 167. С. 64-76.
- Иванков В.Н., Митрофанов Ю.А., Бушуев В.П. 1975. Случай созревания горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) в возрасте менее одного года // Вопросы ихтиологии. Т. 15. № 3. С. 556-557.
- Иванков В.Н., Митрофанов Ю.А., Омельченко В.Т. 1987. Половозрелость горбуши на первом году жизни // Биология моря. № 1. С. 28-31.
- Каев А.М. 2002. О поимке горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* и кеты *Oncorhynchus keta* редкого возраста // Биология моря. № 6. С. 457-458.
- Каев А.М. 2003. Особенности воспроизводства кеты в связи с её размерно-возрастной структурой. Южно-Сахалинск: Изд-во СахНИРО, 288 с.
- Каев А.М. 2007. Биологические основы рационального промысла лососей в Сахалино-Курильском регионе // Вопросы рыболовства. Т. 8. № 4 (32). С. 713-733.
- Каев А.М. 2012. Темпоральная структура и некоторые вопросы динамики стада горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Salmonidae) // Вопросы ихтиологии. Т. 52. № 1. С. 62-71.
- Каев А.М. 2018. О влиянии экстремальных факторов среды на динамику численности горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* // Вопросы ихтиологии. Т. 58. № 2. С. 179-191. DOI: 10.7868/S0042875218020078.
- Каев А.М. 2019 а. О некоторых вопросах динамики численности темпоральных форм горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* на Сахалине и южных Курильских островах // Вопросы ихтиологии. Т. 59. № 4. С. 452-460. DOI: 1134/S0042875219030081.
- Каев А.М. 2019 б. Некоторые результаты изучения динамики численности горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* и кеты *O. keta* на северо-западном побережье острова Сахалин // Вопросы ихтиологии. Т. 59. № 5. С. 567-577. DOI: 10.1134/S0042875219040106.
- Каев А.М. 2019 в. Некоторые результаты изучения динамики численности горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* на северо-восточном побережье острова Сахалин // Вопросы ихтиологии. Т. 59. № 6. С. 672-680. DOI: 10.1134/S0042875219060043.
- Каев А.М. 2022. Особенности промысла и показатели воспроизводства горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* о. Итуруп (Курильские острова) // Известия ТИНРО. Т. 202. № 1. С. 71-91. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-71-91.
- Каев А.М., Животовский Л.А. 2016. Новые данные к дискуссии о локальных и флуктуирующих стадах горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* // Известия ТИНРО. Т. 187. С. 122-144. DOI: 10.26428/1606-9919-2016-187-122-144.
- Каев А.М., Ромасенко Л.В. 2017. Горбуша и кета острова Кунашир (структура популяций, воспроизводство, промысел). Южно-Сахалинск: Изд-во СахГУ. 124 с.

- Каев А.М., Самарский В.Г. 2024. Итоги промысла горбуши на островах Сахалин (восточное побережье) и Итуруп в 2018-2023 гг. // Бюлл. изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. № 18. С. 105-122. DOI: 10.26428/losos\_bull18-2024-105-122.
- Каев А.М., Авдеев Д.В., Дзен Г.Н., Захаров А.В., Никитин В.Д. 2017. Результаты количественного учёта покатной молоди горбуши в реках Сахалинской области в 2017 г. // Бюлл. изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. № 12. С. 74-81.
- Каев А.М., Антонов А.А., Ким Хе Юн, Руднев В.А. 2004. Показатели воспроизводства горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* южной части острова Сахалин // Труды СахНИРО. Т. 6. С. 3-38.
- Каев А.М., Дзен Г.Н., Игнатъев Ю.И., Чеснаков Н.И., Сухонос П.С., Бобров И.С. 2024. Оценка численности покатной молоди горбуши в реках островов Сахалин и Итуруп в 2023 г. // Бюлл. изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. № 18. С. 209-220. DOI: 10.26428/losos\_bull18-2024-209-220.
- Каев А.М., Дзен Г.Н., Сухонос П.С., Бобров И.С. 2020. Оценка численности покатной молоди горбуши в реках островов Сахалин и Итуруп в 2019 г. // Известия ТИНРО. Т. 200. Вып. 1. С. 82-100. DOI: 10.26428/1606-9919-2020-200-82-100.
- Каев А.М., Самарский В.Г., Глубоковский М.К. 2023. К совершенствованию регулирования промысла горбуши (на примере Сахалино-Курильского региона) // Труды ВНИРО. Т. 192. С. 39-54. DOI: 10.36038/2307-3497-2023-192-39-54.
- Канзепарова А.Н., Золотухин С.Ф., Балушкин В.А. 2013. Условия развития молоди охотоморской горбуши и кеты в наиболее холодные зимы на примере 2013 г. // Бюлл. изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. № 8. С. 147-149.
- Карпенко В.И. 1998. Ранний морской период жизни тихоокеанских лососей. М.: Изд-во ВНИРО. 165 с.
- Кириллов П.И., Кириллова Е.А., Павлов Д.С. 2018. Закономерности покатной миграции молоди горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* в р. Малая Хузи (Сахалинская область) // Вопросы ихтиологии. Т. 58. № 6. С. 710-723. DOI: 10.1134/S0042875218060139.
- Кириллова Е.А. 2019. Результаты количественного учёта покатной молоди тихоокеанских лососей в реке Малая Хузи (северо-восток острова Сахалин) в 2019 г. // Бюлл. изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. № 14. С. 210-215.
- Кириллова Е.А. 2022. Результаты количественного учёта покатной молоди горбуши в реке Малая Хузи (северо-восток острова Сахалин) в 2021 году // Бюлл. изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. № 16. С. 110-118. DOI: 10.26428/losos\_bull16-2022-110-118.
- Коновалов С.М. 1985. Факторы, лимитирующие численность и биомассу тихоокеанских лососей // Биологические исследования лососёвых. Владивосток: ДВНЦ АН СССР. С. 5-25.
- Найденко С.В., Темных О.С. 2016. Выживаемость тихоокеанских лососей в Северной Пацифике в зимне-весенний период // Известия ТИНРО. Т. 185. С. 67-94. DOI: 10.26428/1606-9919-2016-185-67-94.
- Никифорова Г.В. 1996. О нахождении половозрелых сеголеток горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* в водоёмах юго-восточного Сахалина // Вопросы ихтиологии. Т. 36. № 6. С. 840-841.
- Никольский Г.В. 1974. Теория динамики стада рыб как биологическая основа рациональной эксплуатации и воспроизводства рыбных ресурсов. М.: Пищевая пром-ть, 447 с.
- Островский В.И. 2007. О брошюре Б.Н. Котенева, О.Ф. Гриценко, Н.В. Кловач «Об организации промысла тихоокеанских лососей» (М.: ВНИРО, 2006) // Бюлл. реализации «Концепции дальневосточной бассейновой программы изучения тихоокеанских лососей». № 2. С. 105-110.
- Плохинский Н.А. 1970. Биометрия. М.: Изд-во МГУ. 367 с.
- Рухлов Ф.Н. 1972. О параметрах нерестовых бугров горбуши и осенней кеты // Рыбное хозяйство. № 8. С. 24-25.
- Сомов А.А., Шевляков Е.А., Старовойтов А.Н., Шевляков В.А., Дедерер Н.А., Мельников И.В. 2024. Перспективы промысла горбуши в российских водах Берингова и Охотского морей в 2024 г. по результатам анализа траловых съёмок молоди на НИС «ТИНРО» и «Профессор Кагановский» осенью 2023 г. // Бюлл. изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. № 18. С. 185-201. DOI: 10.26428/losos\_bull18-2024-185-201.
- Точилина Т.Г., Смирнов Б.П. 2015. Половозрелые сеголетки горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) в прибрежных водах о. Итуруп (южные Курильские острова) // Труды ВНИРО. Т. 158. С. 136-142.
- Шунтов В.П. 2000. Результаты изучения макроэкосистем дальневосточных морей России: задачи, итоги, сомнения // Вестник ДВО РАН. № 1. С. 19-29.
- Шунтов В.П., Темных О.С. 2008. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах. Т. 1. Владивосток: Изд-во ТИНРО-Центр. 481 с.
- Шунтов В.П., Темных О.С. 2011. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах. Т. 2. Владивосток: Изд-во ТИНРО-Центр. 473 с.
- Шунтов В.П., Темных О.С., Найденко О.С. 2019. Ещё раз о факторах, лимитирующих численность тихоокеанских лососей (*Oncorhynchus spp.*, сем. Salmonidae) в океанический период их жизни // Известия ТИНРО. Т. 196. С. 3-22. DOI: 10.26428/1606-9919-2019-196-3-22.
- Anas R.E. 1959. Three-year-old pink salmon // J. Fish. Res. Bd. Canada. V. 16. No. 1. P. 91-94.
- Kaev A.M., Irvine J.R. 2016. Population dynamics of pink salmon in the Sakhalin-Kuril Region, Russia // NPAFC Bull. № 6. P. 297-305. DOI: 10.23849/npafcb6/297.305.
- Morbey Y. 2000. Protandry in Pacific salmon // Can. J. Fish. and Aquat. Sci. V. 57. № 6. P. 1252-1257. DOI: 10.1139/f00-064
- Skud B.E. 1955. Length-weight relationship in migrating fry of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) in Sashin Creek, Little Port Walter, Alaska // Copeia. № 3. P. 204-207.

REFERENCES

- Glubokovsky M.K., Zhivotovsky L.A.* 1986. Population structure in pink salmon: a system of fluctuating stocks // *Biologiya morya*. No. 2. P. 39-44. (In Russ.).
- Glubokovsky M.K., Zhivotovsky L.A.* 2024. A new species of pacific salmon – rosy salmon *Oncorhynchus gorbuschka* sp. nova: Description and genesis of the taxon // *Russian journal of marine biology*. V. 50. № 3. P. 116-125. DOI: 10/1134/S1063074024700123.
- Gritsenko O.F.* 1981. On the population structure of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) // *Voprosy ikhtiologii*. V. 21. No. 5. P. 787-799. (In Russ.).
- Gritsenko O.F.* 1990. Population structure of the Sakhalin pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* // *Voprosy ikhtiologii*. V. 30. No. 5. P. 825-835. (In Russ.).
- Gritsenko O.F.* 2002. Diadromous fishes of Sakhalin (systematics, ecology, fisheries). Moscow: VNIRO Publish. 248 pp. (In Russ.).
- Zelenina D.A., Zhivotovsky L.A., Soshnina V.A., Vilkova O.Yu., Glubokovsky M.K.* 2022. Intra-species differentiation of the Asian Pink salmon inferred from the mitochondrial CYTB gene sequences // *Russian journal of Genetics*. V. 58. No. 11. P. 1323-1333. DOI: 10.1134/S1022795422110138.
- Ivankov V.N.* 1967. On seasonal races of pink salmon // *Izvestiya TINRO*. V. 61. P. 143-151. (In Russ.).
- Ivankov V.N.* 1993. Population organization in Pacific salmon with a short freshwater life span // *Voprosy ikhtiologii*. V. 33. No. 1. P. 78-83. (In Russ.).
- Ivankov V.N.* 2011. Intraspecific differentiation and the population organizing of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* in different parts of its natural habitat // *Izvestiya TINRO*. V. 167. P. 64-76. (In Russ.).
- Ivankov V.N., Mitrofanov Yu.A., Bushuev V.P.* 1975. A case of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) maturation at less than one year of age // *Voprosy ikhtiologii*. V. 15. No. 3. P. 556-557. (In Russ.).
- Ivankov V.N., Mitrofanov Yu.A., Omelchenko V.T.* 1987. Maturation of pink salmon in the first year of life // *Biologiya morya*. No. 1. P. 28-31. (In Russ.).
- Kaev A.M.* 2002. On catching humpback Salmon *Oncorhynchus gorbuscha* and chum salmon *Oncorhynchus keta* of rare age // *Russian Journal of Marine Biology*. № 6. P. 415-416.
- Kaev A.M.* 2003. Peculiarities of chum salmon reproduction in connection with its size-age structure. Yuzhno-Sakhalinsk: SakhNIRO Publish. 288 pp. (In Russ.).
- Kaev A.M.* 2007. Biological foundation of rational salmon fishing in Sakhalin-Kuril Region // *Voprosy rybolovstva*. V. 8. No. 4 (32). P. 713-733. (In Russ.).
- Kaev A.M.* 2012. Temporal structure and some features of stock dynamics of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* (Salmonidae) // *Journal of Ichthyology*. V. 52. № 1. P. 57-67. DOI: 10.1134/S0032945211060038. (In Russ.).
- Kaev A.M.* 2018. Influence of extreme environmental factors on the dynamics of abundance of the pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* // *Journal of Ichthyology*. V. 58. № 2. P. 204-216. DOI: 10.1134/S0032945218020066. (In Russ.).
- Kaev A.M.* 2019 a. Some population dynamics issues of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* temporal forms on Sakhalin and the southern Kuril Islands // *Journal of Ichthyology*. V. 59. № 4. P. 583-590. DOI: 10.1134/S003294521903007X. (In Russ.).
- Kaev A.M.* 2019 б. Some results from studies on number dynamics of pink *Oncorhynchus gorbuscha* and chum *O. keta* salmon on the northwest coast of Sakhalin Island // *Journal of Ichthyology*. V. 59. № 5. P. 743-753. DOI: 10.1134/S0032945219040076. (In Russ.).
- Kaev A.M.* 2019 в. Some results from studies on pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha*'s number dynamics on the northeast coast of Sakhalin Island // *Journal of Ichthyology*. V. 59. № 6. P. 885-894. DOI: 10.1134/S0032945219060043. (In Russ.).
- Kaev A.M.* 2022. Features of fishery and indices of reproduction for pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* of Iturup Island (Kuril Islands) // *Izvestiya TINRO*. V. 202. No. 1. P. 71-91. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-71-91. (In Russ.).
- Kaev A.M., Zhivotovsky L.A.* 2016. New findings to discussion on local versus fluctuating stocks of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* // *Izvestiya TINRO*. V. 187. P. 122-144. DOI: 10.26428/1606-9919-2016-187-122-144. (In Russ.).
- Kaev A.M., Romasenko L.V.* 2017. Pink salmon and chum salmon of Kunashir Island (Population structure, reproduction, fishing). Yuzhno-Sakhalinsk: Sakhalin SU Press. 124 p. (In Russ.).
- Kaev A.M., Samarsky V.G.* 2024. Results of pink salmon fishery on the islands of Sakhalin (eastern coast) and Iturup in 2018-2023 // *Bull. on the study of Pacific salmon in the Far East*. № 18. P. 105-122. DOI: 10.26428/losos\_bull18-2024-105-122. (In Russ.).
- Kaev A.M., Avdeev D.V., Dzen G.N., Zakharov A.V., Nikitin V.D.* 2017. The results of count of juvenile pink salmon migrants in rivers of Sakhalin-Kuril region in 2017. // *Bull. on the study of Pacific salmon in the Far East*. № 12. P. 74-81. (In Russ.).
- Kaev A.M., Antonov A.A., Kim Khe Yun, Rudnev V.A.* 2004. Reproduction indices of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) from the southern Sakhalin Island // *Trudy SakhNIRO*. V. 6. P. 3-38. (In Russ.).
- Kaev A.M., Dzen G.N., Ignatiev Yu. I., Chesnakov N.I., Sukhonos P.S., Bobrov I.S.* 2024. Estimation of abundance for the migrating juvenile pink salmon in the rivers of Sakhalin and Iturup Islands in 2023 // *Bull. on the study of Pacific salmon in the Far East*. № 18. P. 209-220. DOI: 10.26428/losos\_bull18-2024-209-220. (In Russ.).
- Kaev A.M., Dzen G.N., Sukhonos P.S., Bobrov I.S.* 2020. Estimation of the abundance for the migrating juvenile pink salmon in the rivers of Sakhalin and Iturup Islands in 2019 // *Izvestiya TINRO*. V. 200. Iss. 1. P. 82-100. DOI: 10.26428/1606-9919-2020-200-82-100. (In Russ.).
- Kaev A.M., Samarsky V.G., Glubokovsky M.K.* 2023. On the improvement of Pink Salmon fishery management (on the Sakhalin-Kuril Region as an example) // *Trudy VNIRO*.

- V. 192. P. 39-54. DOI: 10.36038/2307-3497-2023-192-39-54. (In Russ.).
- Kanzeparova A.N., Zolotukhin S.F., Balushkin V.A. 2013. Conditions of juveniles' development of both pink salmon and chum salmon in the coldest winters on the example of 2013. // Bull. on the study of Pacific salmon in the Far East. № 8. P. 147-149. (In Russ.).
- Karpenko V.I. 1998. The early see life of Pacific salmon. Moscow: VNIRO Publishing. 166 p. (In Russ.).
- Kirillov P.I., Kirillova E.A., Pavlov D.S. 2018. Patterns of downstream migration of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* in the Malaya Khusi River (Sakhalin Oblast) // Journal of Ichthyology. V. 58. № 6. P. 743-753. DOI: 10.1134/S0032945218060085. (In Russ.).
- Kirillova E.A. 2019. Results of quantitative assessment of seaward migrating fry of Pacific salmon in the Malaya Khusi River (north-east of Sakhalin) in 2019 // Bull. on the study of Pacific salmon in the Far East. № 14. P. 210-215. (In Russ.).
- Kirillova E.A. 2022. Results of quantitative assessment of seaward migrating pink salmon fry in the Malaya Khusi river (north-east of Sakhalin) in 2021 // Bull. on the study of Pacific salmon in the Far East. № 16. P. 110-118. DOI: losos\_bull16-2022-110-118. (In Russ.).
- Konovalov S.M. 1985. Factors limiting the number and biomass of Pacific salmon // Biological studies of salmon. Vladivostok: DVNC AN USSR. P. 5-25. (In Russ.).
- Naydenko S.V., Temnykh O.S. 2016. Survival of pacific salmon in the North Pacific in winter-spring season // Izvestiya TINRO. V. 185. P. 67-94. DOI: 10.26428/1606-9919-2016-185-67-94. (In Russ.).
- Nikiforova G.V. 1996. On the occurrence of sexually mature pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* in the waters of southeastern Sakhalin Island // Voprosy ikhtiologii. V. 36. No. 6. P. 840-841. (In Russ.).
- Nikol'skii G.V. 1974. Theory of fish stock dynamics as a biological basis for rational exploitation and reproduction of fish resources. Moscow: Pishch. Prom-st. 447 p. (In Russ.).
- Ostrovsky V.I. 2007. About the brochure B.N. Kotenev, O.F. Gritsenko, N.V. Klovach «On the organization of fishing for Pacific salmon» (Moscow: VNIRO, 2006) // Bull. No. 2 of the implementation of the «Concept of the Far Eastern Basin Program for the Study of Pacific Salmon». P. 105-110. (In Russ.).
- Plokhinskii N.A. 1970. Biometriya (Biometrics). Moscow: MSU Press. 367 p. (In Russ.).
- Rukhlov F.N. 1972. On parameters of spawning hillocks of pink salmon and autumn chum salmon // Rybnoe Khoziaystvo. № 8. P. 24-25. (In Russ.).
- Somov A.A., Shevlyakov E.A., Starovoitov A.N., Shevlyakov V.A., Dederer N.A., Melnikov I.V. 2024. Prospects for the pink salmon fishery in the Russian waters of the Bering and Okhotsk Seas in 2024 based on analysis of the juveniles trawl survey aboard RV TINRO and RV «Professor Kaganovsky» in the fall of 2023 // Bull. on the study of Pacific salmon in the Far East. № 18. P. 185-201. DOI: 10.26428/losos\_bull18-2024-185-201. (In Russ.).
- Tochilina T.G., Smirnov B.P. 2015. Mature pink salmon juveniles *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) in the Iturup Island coastal waters (the Southern Kuril Islands) // Trudy VNIRO. V. 158. P. 136-142.
- Shuntov V.P. 2000. Results of studying the macroecosystems of the Far Eastern seas of Russia: tasks, results, doubts // Vestnik DVO RAN. No. 1. P. 19-29. (In Russ.).
- Shuntov V.P., Temnykh O.S. 2008. Pacific salmon in marine and oceanic ecosystem. Vladivostok: TINRO-Centre Publish. V.1. 481 pp. (In Russ.).
- Shuntov V.P., Temnykh O.S. 2011. Pacific salmon in marine and oceanic ecosystem. Vladivostok: TINRO-Centre Publish. V.2. 473 pp. (In Russ.).
- Shuntov V.P., Temnykh O.S., Naydenko S.V. 2019. Once again on factors limiting the number of pacific salmon (*Oncorhynchus* spp., fam. Salmonidae) during the oceanic period of their life // Izvestiya TINRO. V. 196. P. 3-22. DOI: 10.26428/1606-9919-2019-196-3-22. (In Russ.).
- Anas R.E. 1959. Three-year-old pink salmon // J. Fish. Res. Bd. Canada. V. 16. No. 1. P. 91-94.
- Kaev A.M., Irvine J.R. 2016. Population dynamics of pink salmon in the Sakhalin-Kuril Region, Russia // NPAFC Bull. № 6. P. 297-305. DOI: 10.23849/npafcb6/297.305.
- Morbey Y. 2000. Protandry in Pacific salmon // Can. J. Fish. and Aquat. Sci. V. 57. № 6. P. 1252-1257. DOI: 10.1139/f00-064
- Skud B.E. 1955. Length-weight relationship in migrating fry of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) in Sashin Creek, Little Port Walter, Alaska // Copeia. № 3. P. 204-207.

Поступила в редакцию 17.03.2025 г.  
Принята после рецензии 11.06.2025 г.



УДК 582.272.46(268.46)

## Промысловые виды и их биология

# Бурые водоросли *Saccharina latissima* и *Laminaria digitata* Белого моря: биохимическая, технологическая характеристики и практическое применение

А.В. Подкорытова<sup>1</sup>, А.Н. Рощина<sup>1</sup>, Н.В. Евсеева<sup>1</sup>, М.О. Березина<sup>2</sup>, Ю.А. Баскакова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»), Окружной проезд, 19, Москва, 105187

<sup>2</sup> Северный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («Северный»), ул. Урицкого, д.17, Архангельск, 163002

E-mail: podkor@vniro.ru

SPIN-коды: А.В. Подкорытова – 9192-2000; А.Н. Рощина – 3724-4424; Н.В. Евсеева – 7562-2385; М.О. Березина – 8180-3099; Ю.А. Баскакова – 5286-5043

**Цель работы:** провести исследования биологических, химических и технологических характеристик *Saccharina latissima* и *Laminaria digitata*, произрастающих в прибрежных зонах Онежского залива Белого моря. Разработать научно обоснованные рекомендации по их использованию.

**Используемые методы:** данные по биологическим, химическим и технологическим характеристикам *S. latissima* и *L. digitata* представлены с привлечением опубликованных работ российских и зарубежных учёных, а также собственных результатов исследований. При проведении исследований были использованы стандартные и современные инструментальные методы.

**Результат:** представлены данные по биологической, химической и технологической характеристикам промысловых бурых водорослей *S. latissima* и *L. digitata*, произрастающих в Онежском заливе Белого моря. Даны рекомендации по их использованию.

**Новизна:** на основе анализа морфометрических показателей *S. latissima* установлены некоторые особенности и закономерности её развития: масса пластин *S. latissima* возраста 2+ была в 6,2 больше, чем таковых 1+, а возраста 3+ масса пластин была в 9,1 раза больше, чем 1+. Эти данные и данные химического состава доказали, что лучшими продукционными характеристиками обладают пластины *S. latissima* возраста 2+ и 3+ и наиболее приемлемы для их промысла и переработки. *S. latissima* и *L. digitata* возраста 2+ и 3+, собранные в период августа-сентября, перспективны для использования, как в пищевой, так и технической отраслях, а отдельные их компоненты – в составе БАД и фармацевтических продуктов.

**Практическая значимость:** свежесобраные водоросли *S. latissima* и *L. digitata* рекомендовано очищать от посторонних примесей, тщательно промывать в морской или в пресной воде, в кратчайшие сроки законсервировать любым доступным способом, предпочтительно сушкой, для сохранения качества и дальнейшего использования при производстве пищевой, лечебно-профилактической и фармацевтической продукции.

**Ключевые слова:** *Saccharina latissima*, *Laminaria digitata*, морфометрические измерения, химический состав, технологические характеристики водорослей.

## Brown algae *Saccharina latissima* and *Laminaria digitata* from the White Sea: their biochemical as well as technological characteristics and practical application

Antonina V. Podkorytova<sup>1</sup>, Anna N. Roshchina<sup>1</sup>, Natalia V. Evseeva<sup>1</sup>, Marina O. Berezina<sup>2</sup>, Julia A. Baskakova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), 19, Okružnoy proezd, Moscow, 105187, Russia

<sup>2</sup> North branch of VNIRO («Severnoy»), 17, st. Uritskogo, Arkhangelsk, 163002, Russia

**The purpose of the work:** To investigate biological, chemical and technological characteristics of *Saccharina latissima* and *Laminaria digitata* growing in coastal zones Onega Bay of the White Sea. To develop scientifically grounded recommendations on their use.

**Methods used:** Data on biological, chemical and technological characteristics of *S. latissima* and *L. digitata* are presented using published works of Russian and foreign scientists, as well as own research results. Standard and modern instrumental methods were used in the research.

**Result.** The data on biological, chemical and technological characteristics of commercial brown algae *S. latissima* and *L. digitata* growing in the Onega Bay of the White Sea are presented. Recommendations on their utilization are given.

**The novelty.** Based on the analysis of the morphometric parameters of *S. latissima*, several features and patterns of its growth were identified. The mass of thalli aged 2 years was 6.2 times larger than those of one-year+, and the mass of three-year+ thalli was 9.1 times larger. These data, along with information on chemical composition, indicate that *S. latissima* aged 2 and 3 have the best production qualities and are most suitable for

harvesting and processing. *S. latissima* and *L. digitata*, aged 2 and 3, collected between August and September, have promising potential for use in both the food and technical sectors. Their individual components can be used in biologically active dietary supplements and pharmaceutical products.

**Practical significance.** Freshly caught algae *S. latissima* and *L. digitata* are recommended to be cleaned from extraneous impurities, thoroughly washed in sea or fresh water, preserved as soon as possible by any available method, preferably drying, to preserve quality and further use in the production of food, therapeutic, preventive and pharmaceutical products.

**Keywords:** *Saccharina latissima*, *Laminaria digitata*, morphometric measurements, chemical composition, technological characteristics of algae.

## ВВЕДЕНИЕ

В морях Северного рыбохозяйственного бассейна сосредоточены запасы промысловых бурых водорослей порядка Laminariales: сахарины широчайшей (*Saccharina latissima* С.Е. Lane, С. Mayes, Druehl et G.W. Saunders, 2006 (= *Laminaria saccharina*) (L.)), ламинарии пальчаторассечённой (*Laminaria digitata* (Huds.) J.V. Lamour., 1813). Их промысловый запас составляет 294,9 тыс. т сырой массы, а рекомендуемый вылов (РВ) – 34,0 тыс. т [Амелькина и др., 2022; Евсеева и др., 2024]. Добычу водорослей проводят применяя косу или канзу, что позволяет одному заготовителю добывать за 4-6 ч до 1-1,5 т ламинарии-сырца. В некоторых районах водоросли добывали с использованием механических драг, что приводило к разрушению субстрата и долгосрочному восстановлению зарослей ламинариевых [Бокова, Титов, 2002].

В России наиболее эксплуатируемые бурые водоросли – это их запасы, сосредоточенные в прибрежных зонах Белого моря. Переработка бурых водорослей была организована ещё 1918 г. с целью производства из них йода. В 1949 г. на Архангельском водорослевом комбинате (АВК) уже начали выпускать маннит и альгинат натрия технический [Кизеветтер и др., 1967; Бокова, Титов, 2002]. В настоящее время маннит и альгинат в России в промышленных масштабах не производят, за исключением выпуска небольших объёмов по заказам или для реализации в мелкой расфасовке. Из морских водорослей на АВК производят продукции более 50 наименований, включая маннит, альгинат, агар, биологически активные добавки (БАД), фармацевтические и косметические средства, ранозаживляющий «Альгипор», кормовые добавки, удобрения для с/х растений и др.<sup>1,2</sup>. На некоторых других предприятиях Российской Федерации выпускают,

в основном, пищевую продукцию (кулинарию, консервы), лечебно-профилактическую (СПП) и БАД<sup>3</sup>.

Уже в середине прошлого века было установлено, что продукты на основе переработки бурых водорослей обладают выраженными радиозащитными свойствами и влияют на обмен йода у детей, а также цезия и стронция, что свидетельствовало о целесообразности их использования в качестве лечебно-профилактических средств у населения, проживающего на радиоактивно загрязнённых и эндемических по йоду и другим радиоизотопам территориях [Hesp, Romsbottom, 1965; Корзун и др., 1992; 1993; Пронина, Репина, 2005].

В настоящее время использование морских водорослей при производстве гидроколлоидов, медицинских, фармацевтических, пищевых продуктов, а также органических, минеральных удобрений и кормовых добавок осуществляется во всем мире [Seaweed Resources ..., 1998; Подкорытова, 2005; Штильман и др., 2015; Подкорытова и др., 2017; Аминина и др., 2020; Подкорытова, Рощина, 2021]. Известно, что основная часть бурых водорослей, добываемых из естественных зарослей и культивируемых на плантациях в море (марикультура), используется для производства альгинатов, выпуск которых в мировом масштабе достиг значительных успехов. По прогнозам компании Market Research Future (MRFR) объём мирового рынка альгинатов увеличится с 0,55 млрд долларов в 2022 г. до 0,78 млрд долларов к 2030 г. с темпом роста 5,1% в течение прогнозного периода (2023-2030 гг.). Кроме того, бурые водоросли порядка Laminariales относятся к пищевым. В их состав входят альгиновые кислоты, фукоиданы, ламинараны, маннит, жизненно важные микро- и макроэлементы, белки, свободные аминокислоты, витамины, пигменты, пищевые волокна, которые являются биологически активными веществами (БАВ) и оказывают благоприятное воздействие на организм человека [Подкорытова, 2005; Подкорытова, Рощина, 2021].

Решение проблем разнонаправленного использования бурых водорослей актуально для исследовате-

<sup>1</sup> Архангельский водорослевый комбинат. <https://vodoroslionline.ru/>. 28.05.2024.

<sup>2</sup> Архангельский водорослевый комбинат. Архангельские водоросли 1918.: <https://av1918.ru/ru/>. 18.04.2025.

<sup>3</sup> О компании «Дары Белого моря». <https://arcticalgae.ru/>. 18.04.2025.

лей и в других странах. Бурые водоросли *L. digitata*, *S. latissima*, *L. hyperborea* и *Alaria esculenta*, собранные во время отливов в прибрежной зоне о. Сейл, Шотландия в период с августа 2010 по октябрь 2011 гг. были исследованы учёными для определения направления их использования, включая ферментацию биомассы для получения биоэтанола. В опубликованной работе приведены данные сезонных колебаний химических компонентов в ламинариевых водорослях и установлены периоды оптимального сбора урожая с целью использования их биопотенциала, как ресурса для производства маннита, альгината и других компонентов, в том числе и биотоплива [Schiener et al., 2015].

В Марокко, например, главным считают получение альгината из *L. digitata*. В связи с этим провели экстрагирование альгината из марокканской *L. digitata* в различных условиях. Было установлено, что на выход альгината влияли температура экстракции и размер кусочков водорослей. Эти результаты учёными были использованы в технологии альгинатов для увеличения его технологического выхода [Fertah et al., 2014; Lorbeer et al., 2015; 2017].

В России до настоящего времени производство отечественной продукции из бурых водорослей, особенно альгинатов, незначительно и не обеспечивает реальных потребностей внутреннего рынка, несмотря на значительные запасы водорослей в прибрежных зонах российских морей [Подкорытова и др., 2022]. В связи с этим систематические исследования биохимических и технологических характеристик промысловых ламинариевых водорослей Белого моря и разработка инновационных технологий их переработки с целью расширения ассортимента продуктов пищевого назначения, БАД, СПП с лечебными и профилактическими свойствами, включая технологию высококачественных альгинатов, является актуальным направлением.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

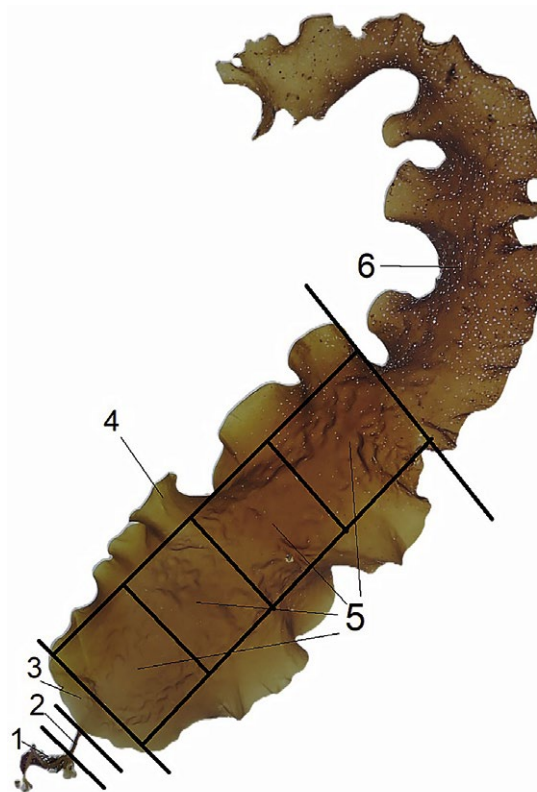
### Сбор и обработка водорослей

Бурые водоросли порядка *Laminariales* добывали канзой в прибрежных зонах Онежского залива Белого моря с глубин 3-6 м. Штормовые выбросы в течение 1-х суток после шторма собирали ручным способом в прибойных зонах о-вов Большой Заяцкий, Большой Соловецкий, Попов, Малая Муксалма, Кирбостров. Сборы водорослей проводили в период полевых работ в летне-осенний период 2019-2023 гг.

Сбор и обработку водорослей проводили в соответствии с методическими рекомендациями по организации сбора первичной информации, оценке за-

пасов и ОДУ промысловых видов водорослей Белого моря [Пронина и др., 2008]. Для оценки гидрометеорологических условий в рассматриваемых прибрежных районах Белого моря использовали среднемесячные значения температур по береговому гидрометеоопосту Соловки<sup>4</sup>.

Для морфометрических измерений методом случайного отбора были собраны 200 экземпляров *S. latissima* разного возраста от 1+ до 3+ лет в прибрежной зоне о. Большой Соловецкий. Там же у о. Большой Соловецкий были собраны образцы *L. digitata*, общая масса которых составляла 5085 г. Определяли видовую принадлежность водорослей в соответствии с современными систематическими представлениями. *S. latissima* и *L. digitata* сортировали на берегу, промывали в морской воде. Морфометрические измерения слоевищ *S. latissima* были сделаны в лаборатории базы Северного филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («Северный») на о. Большой Соловецкий. Затем слое-



**Рис. 1.** Схема разделки таллома *S. latissima*: 1 – ризоиды; 2 – ствол; 3 – зона роста; 4 – волнистые края; 5 – середина таллома (куски требуемого размера); 6 – верх таллома

**Fig. 1.** Scheme of *S. latissima* thallus cutting: 1 – rhizoids; 2 – trunk; 3 – growth zone; 4 – wavy edges; 5 – middle of thallus (pieces of required size); 6 – top of thallus

<sup>4</sup> Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане. <http://esimo.ru/portal/> 17.03.2025.

вища *S. latissima*, всего 18 штук, отобранных из биологической пробы, разделяли по схеме (рис. 1).

В процессе разделки свежесобранных *S. latissima* в соответствии со схемой (рис. 1) были получены следующие данные: выход средней части таллома составил 45%, черешков – 18%, волнистых краевых полос и верхушек – 37% от общей массы водоросли, состоящей из 18 экземпляров. Подготовленные образцы из частей середины таллома *S. latissima*, волнистых краевых полос, верхушек слоевищ и черешков (стволиков) взвешивали, а затем высушивали в естественных условиях при температуре окружающего воздуха. Цельные талломы *S. latissima* и *L. digitata* развешивали на вешалах и высушивали естественным способом при температуре окружающего воздуха в течение 24 и 35 ч соответственно. Части из середины талломов и черешки *S. latissima* размещали на раскладной сетчатой сушилке. В процессе сушки образцы водорослей и их частей периодически взвешивали и фиксировали время сушки и изменение массы образца. Высушенные образцы водорослей упаковывали, свежедобытые *S. latissima* и *L. digitata* помещали в сумку-холодильник, и все образцы транспортировали в лабораторию ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» в г. Москва. В лаборатории сырые образцы водорослей высушивали методами конвективной сушки и с применением ИК-излучения. Сушёные водоросли измельчали до состояния крупки, хранили в тёмных банках с притёртой пробкой до проведения анализов.

### Биологические исследования

*S. latissima* и *L. digitata* относятся к многолетним формам водорослей. *S. latissima* живёт до 4-5 лет, продолжительность жизни *L. digitata*, как правило, составляет 11 лет (максимальный возраст спорофита – 13 лет). Возрастная структура популяций этих двух видов различается в зависимости от глубины. В горизонте глубин 2-7 м в поселениях обычно присутствуют растения всех возрастных групп. На глубинах 8-10 м преобладают взрослые и старые растения, так как световые и гидродинамические факторы не благоприятствуют развитию молодых растений [Михайлова, 2001]. *S. latissima* – это ровная, морщинистая, удлинённая пластина с тёмной продольной полосой, иногда с двумя продольными рядами вмятин и выпуклостей. Максимальная длина слоевищ достигает 7 м.

У *L. digitata* пластина молодых слоевищ цельная (широкоовальной или клиновидной формы), но с увеличением размеров и возраста она разделяется на пять продольных лопастей (ламинария пальчато-рассечённая).

Длина слоевища *L. digitata* достигает в отдельных случаях 5 м, а ширина – 1 м [Блинова, 2007].

Анализ морфометрических показателей *S. latissima* позволил установить некоторые особенности и закономерности развития этих морских растений в летний период 2022 г.: общая длина слоевищ *S. latissima*, в исследованной биологической пробе 200 экземпляров, колебалась для возраста 1+ лет от 5,3 до 237,0 см, для 2+ лет – от 57,0 до 335,5 см, у 3+ лет – 206,0-377,5 см. Длина пластины у растений возраста 1+ – 3+ лет – от 4,7 до 331,0 см. Старая пластина обнаружена у 97% исследованных растений, длина её варьировала от 0,5 до 87,0 см (средняя – 25,5 см). Длина новой пластины у спорофитов 1+ – 3+ лет составила от 4,2 до 244,0 см. У 89% молодых растений 1+ лет длина новой пластины не превышала 100 см. Взрослые спорофиты 2+ – 3+ лет с длиной пластины от 100 см и более составили в выборке 92%. Толщина новой пластины у спорофитов возраста 1+ лет колебалась от 0,15 до 1,30 мм, у 2+ лет – 0,80-1,40 мм, у 3+ лет – от 1,20 до 1,30 мм. Масса новой пластины *S. latissima* в выборке составляла от 25 до 98% от массы всего слоевища. Средние значения морфометрических показателей *S. latissima* в июне 2022 г. представлены в табл. 1.

В июне спороносные пятна на талломах *S. latissima* обнаружены у растений возраста 1+ – 3+ лет. В возрастной группе 1+ лет наличие спороносной ткани отмечено только у 2-х спорофитов (3%), в группе 2+ лет репродуктивная ткань зафиксирована у 72% растений, в группе 3+ лет все растения имели спороносные пятна на пластинах. Площадь, занятая репродуктивной тканью, составляла в среднем 3% от общей площади пластины (рассчитанной без учёта её складчатости), что соответствует данным литературы [Пронина и др., 2008]. Здесь же показано, что в условиях Белого моря полное созревание и первый выход зооспор *S. latissima* происходит при температуре не ниже 7-10 °С, в связи с этим было выдвинуто предположение, что размножение *S. latissima* в прибрежной зоне Соловецких островов начинается в июне, так как температура поверхностных слоёв воды в период наблюдений с 04.06.22 г. по 19.06.22 г. составляла от 7,5 до 11,8 °С.

Результаты измерений *S. latissima*, проведённых во II декаде августа 2022 г., показали, что у спорофитов увеличилась длина черешка, вследствие продолжающихся ростовых процессов. Также увеличилась толщина пластины (непосредственно над зоной роста) и черешка, как частей водоросли, поддерживающих жизнедеятельность растения в зимний период. Одновременно, у взрослых спорофитов сахарины возраста 2+ – 3+ лет зарегистрировано разрушение верхней и боковой частей пластины. Наиболее интенсивно разрушаются пла-

**Таблица 1.** Морфометрические параметры талломов *S. latissima* в июне 2022 г. в зависимости от их возраста  
**Table 1.** Morphometric parameters of *S. latissima* thalloms in June 2022 depending on their age

Морфометрические параметры, ед. измерения	Возраст, лет		
	1+	2+	3+
	(n=64)	(n=32)	(n=5)
Длина новой пластины, см (M ±σ)	55,9±8,4	157,8±11,5	175,4±19,4
Толщина новой пластины, мм (M ±σ)	0,66±0,30	1,11±0,15	1,24±0,05
Масса новой пластины, г (M ±σ)	82,6±9,7	439,5±18,6	661,8±27,8
Длина черешка, см (M ±σ)	13,4±3,1	38,7±5,1	59,7±9,2
Масса черешка, г (M ±σ)	7,8±1,5	34,6±2,6	71,0±54,6
Общая длина слоевища, см (M ±σ)	86,3±59,6	226,9±60,7	290,9±7,8
Общая масса слоевища с черешком и ризоидами, г (M ±σ)	86,5±10,7	529,5±21,7	782,8±33,6

стины взрослых растений, что связано также с продолжающимся процессом выхода зрелых зооспор. В связи с этим, длина пластины спорофитов 2+ – 3+ лет уменьшается до уровня июньских показателей, при этом масса снижается в 1,5-1,7 раза по сравнению с таковыми. У молодых растений (1+ лет) изменения в их размерно-массовых показателях выглядят следующим образом: длина второгодних растений в период с июня по август достигает 66,7 см, масса составляет 60,0-82,6 г; длина растений третьего года жизни 151-157 см, их масса 289,3-439,5 г; длина растений четвертого года жизни и более 175,4-176,8 см, масса 392,7-661,8 г. Таким образом, было установлено, что лучшими продукционными характеристиками обладают слоевища (пластины) *S. latissima* возраста 2+ и 3+ (рис. 2, 3).

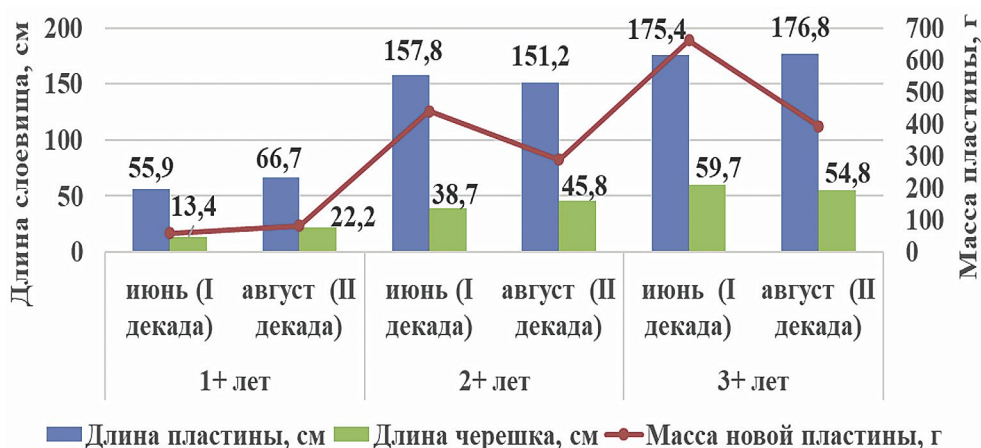
В августе у части растений *S. latissima* продолжался процесс спорообразования, доля фертильных растений 1+ лет составляла 5%, 2+ лет – 45%, 3+ лет – 71%. При

этом значительно увеличилась толщина черешков и слоевищ *S. latissima* в течение летнего периода 2022 г.

Таким образом, морфометрические исследования *S. latissima*, проведенные в течение летнего периода 2022 г., позволили оценить её размеры, биомассу и продукционные характеристики, а также установить, что растения возраста 2+ – и 3+ лет наиболее приемлемы для их промысла и переработки.

### Технологические исследования. Сушка *S. latissima* и *L. digitata*

В июне 2022 г. на о. Большой Соловецкий температура воздуха в среднем составляла 23±2 °С, влажность воздуха (75±10%), скорость ветра (5±2 м/с). При данных погодных условиях и вертикальном развешивании на вешалах талломов *S. latissima* и *L. digitata* продолжительность их естественной сушки составляла от 36 до 48 ч, масса сырья уменьшалась в 7 и в 4 раза, соответственно. Выход сушёных талломов от массы сырых для



**Рис. 2.** Изменение длины талломов и черешков *S. latissima*, а также их массы в течение летнего периода 2022 г.

**Fig. 2.** Changes in the length of *S. latissima* thalloms and petioles, as well as their mass during the summer period of 2022

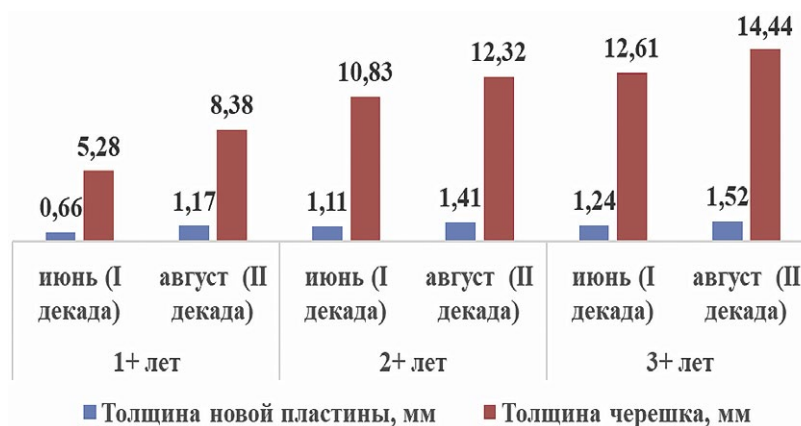


Рис. 3. Изменение толщины черешка и таллома *S. latissima* в течение летнего периода 2022 г.

Fig. 3. Changes in petiole and thallom thickness of *S. latissima* during the summer of 2022

*S. latissima* составлял в среднем 15%, для *L. digitata* – 24,3%. На рис. 4 представлены данные изменений массы талломов *S. latissima* и *L. digitata* в зависимости от продолжительности сушки в естественных условиях.

При тех же погодных условиях и раскладке на горизонтальных сетчатых сушилках были высушены

куски средней части таллома *S. latissima*. Экспериментальные данные по изменению их массы в зависимости от продолжительности естественной сушки представлены на рис. 5.

Результаты показали, что продолжительность естественной сушки средних частей талломов *S. latissima*

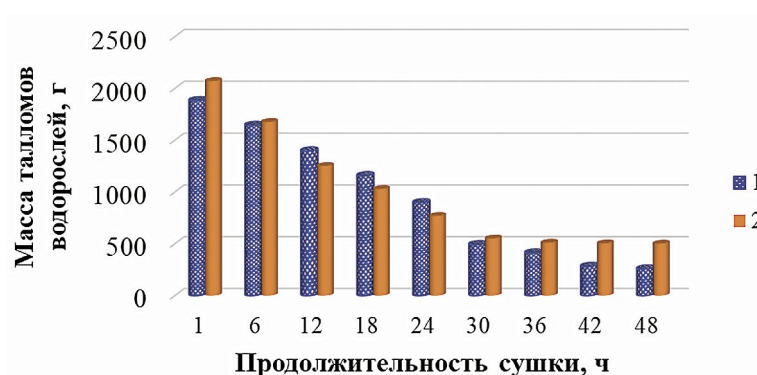


Рис. 4. Изменение массы талломов *S. latissima* (1) и *L. digitata* (2) в зависимости от продолжительности сушки в естественных условиях при их вертикальном развешивании (о. Б. Соловецкий, июнь 2022 г.)

Fig. 4. Change in thallus mass of *S. latissima* (1) and *L. digitata* (2) depending on drying duration under natural conditions with vertical hanging (Solovetsky Island, June 2022)

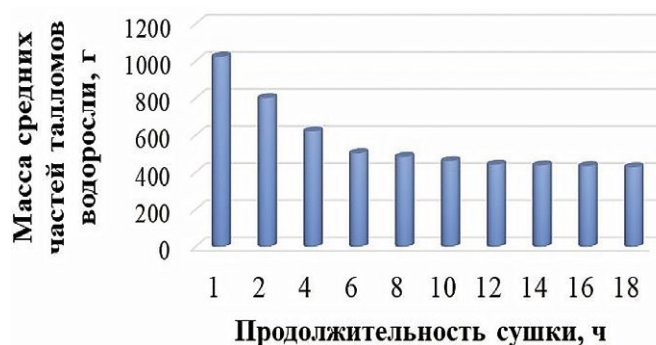


Рис. 5. Изменение массы средних частей талломов *S. latissima* в зависимости от продолжительности сушки в естественных условиях при их горизонтальной раскладке (о. Б. Соловецкий, июнь 2022 г.)

Fig. 5. Change in mass of the middle parts of *S. latissima* thalli depending on drying duration under natural conditions with horizontal spreading (Solovetsky Island, June 2022)

составила около 16 ч. При этом их масса уменьшилась в 4,5 раза, и выход сушёных средних частей талломов *S. latissima* составил около 42% от массы сырых.

В процессе сушки черешков *S. latissima* установлено, что продолжительность высушивания в естественных условиях составила около 18-24 ч и их масса уменьшилась в 3,5 раза (рис. 6). Выход сушёных черешков *S. latissima* составил 30% от массы сырых.

цессе восстановления в воде при заданных условиях их воздушно-сухие кусочки размером 2×4 см полностью набухают за 5 ч. При этом консистенция у них плотная, цвет от зелёного до буро-коричневого. Показатель КГ определяет минимальное количество воды, которое может быть использовано на восстановление сушёных водорослей. Коэффициенты гидратации и набухаемость сушёных кусочков размером 2×4 см,

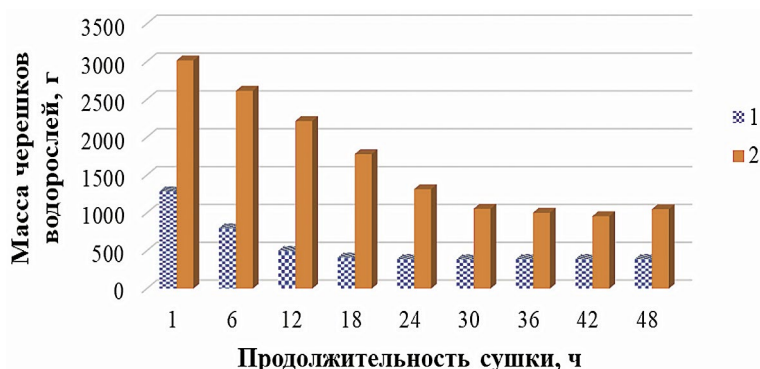


Рис. 6. Изменение массы черешков *S. latissima* (1) и *L. digitata* (2) в зависимости от продолжительности сушки в естественных условиях при их горизонтальной раскладке (о. Б. Соловецкий, 06.2022 г.)

Fig. 6. Weight change of *S. latissima* (1) and *L. digitata* (2) stipes depending on the duration of natural air drying with horizontal layout (B. Solovetsky Island, 06.2022)

В лаборатории ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» проведены исследования влияния тепловой сушки (конвективной и с инфракрасным излучением) на сырец *S. latissima*. Установлено, что при сушке сырых слоевищ *S. latissima* в сушильном шкафу «Дачник-4» с ИК-излучением при температуре 40-60 °С процесс проходит в 11 раз быстрее, чем при естественной сушке на воздухе. При этом масса слоевищ *S. latissima* уменьшилась в 6-7 раз. При высушивании сырых слоевищ *S. latissima* в сушильном шкафу «Snol 75/350» при температуре 60-80 °С с принудительной циркуляцией воздуха процесс протекает в 6 раз быстрее, чем при естественной сушке на воздухе, и в 2 раза дольше, чем при ИК-сушке в сушильном шкафу «Дачник-4». При этом отмечено, что масса сырых слоевищ уменьшилась в 9,2 раза. Содержание воды в *S. latissima* после сушки в сушильном шкафу составляла 10,23%, а после ИК-сушки – 12,60%, что является допустимыми показателями для сохранности сушёных водорослей при соблюдении условий хранения в соответствии с требованиями технической документации (ТД).

В процессе изучения технологических характеристик ламинариевых водорослей Белого моря были определены коэффициенты гидратации (КГ) для сушёных водорослей, измельчённых на кусочки размером 2×4 см, где КГ составили для *S. latissima* – 7,4 и *L. digitata* – 7,7, что характерно для этих видов. В про-

а также химический состав водорослей определяли с использованием стандартных и современных инструментальных методов исследований в соответствии<sup>5,6,7</sup>, а также МУК [Подкорытова, Кадникова, 2009].

#### Исследование химического состава *S. latissima* и *L. digitata*

Результаты исследований общего химического состава *S. latissima* и *L. digitata*, произрастающих в Онежском заливе Белого моря, в зависимости от сезона и места их сбора представлены в табл. 2 и 3. Данные химического состава талломов и черешков *S. latissima* показывают, что их сухое вещество состоит из минеральных (15,08-33,40%) и органических веществ (84,92-66,60%) (табл. 2). Органические вещества состоят из углеводов (47,06-80,56%), белка (5,76-13,06%), липидов (0,25-1,32%). Содержание альгиновой кислоты в слоевищах *S. latissima* варьи-

<sup>5</sup> ГОСТ 33331-2015 Водоросли, травы морские и продукция из них. Методы определения массовой доли воды, золы и посторонних примесей. М.: Стандартинформ, 2019. 9 с.

<sup>6</sup> ГОСТ 26185-84 Водоросли морские, травы морские и продукты их переработки. Методы анализа (Изм. № 1) – М.: Стандартинформ, 2018. 34 с.

<sup>7</sup> ГОСТ 31413-2010 Водоросли, травы морские и продукция из них. Правила приёмки и методы отбора проб. – М.: Изд-во Стандартинформ, 2019. 12 с.

**Таблица 2.** Химический состав *S. latissima* в зависимости от места и сезона сбора в Белом море  
**Table 2.** Chemical composition of *S. latissima* depending on the place and season of collection in the White Sea

№	Описание образца	Содержание, %						
		Сумма веществ		Белка (N×6,25)	Углеводов	Альгиновой к-ты	Липидов	
		Минеральных	Органических					
о. Попов, 03 июня 2023 г. (штормовые выбросы)								
1	Талломы	24,17	75,83	5,76	68,57	21,11	1,13	
2	Черешки	36,40	63,60	10,96	51,14	17,04	–	
о. Большой Соловецкий, 05 июня 2023 г.								
3	Талломы	21,31	78,69	7,53	69,66	22,38	–	
о. Попов, 06 июня 2022 (штормовые выбросы)								
4	Талломы	33,40	66,60	13,06	52,04	16,26	1,15	
о. Большой Соловецкий, 07 июня 2019 г.								
5	Талломы	20,33	79,67	9,35	68,82	22,94	1,22	
о. Большой Соловецкий, 05 по 08 июня 2022 г.								
6	Шинкованная	24,23	75,77	9,66	64,61	25,19	–	
7	Куски	20,18	79,82	10,40	67,82	27,53	–	
8	Черешки	41,62	58,38	9,82	47,06	15,73	–	
о. Большой Соловецкий, 16-28 июля 2023 г.								
9	Талломы	19,26	80,74	5,25	73,99	24,66	–	
10	Черешки	35,24	64,76	7,57	55,69	19,49	–	
о. Большой Соловецкий, 19 августа по 02 сентября 2020 г.								
11	Талломы	21,83	74,61	6,78	67,86	33,93	1,17	
12	Черешки	27,88	72,12	8,67	61,95	27,75	–	
о. Большой Соловецкий, 20-23 августа 2022 г.								
13	Талломы	19,40	80,60	6,71	72,39	31,40	–	
14	Черешки	33,97	66,03	7,80	56,73	25,78	–	
о. Большой Соловецкий, 25-30 августа 2021 г.								
15	Талломы	14,55	85,45	3,39	80,56	35,02	–	
о. Попов, 26-29 августа 2022 г. (штормовые выбросы)								
16	Талломы	26,86	73,14	9,35	62,29	20,76	–	
17	Черешки	32,72	67,28	13,00	52,78	26,39	–	
о. Малая Муксалма, 06 сентября 2020 г.								
18	Талломы	15,08	84,92	8,17	75,25	25,08	0,25	
19	Черешки	23,74	81,31	6,26	73,55	23,75	0,32	
о. Кирбостров, 26 сентября 2020 г. (штормовые выбросы)								
20	Талломы	СВ <sup>1</sup>	20,87	79,13	12,73	64,90	21,38	–
21		СШ <sup>2</sup>	16,06	81,78	12,82	67,46	22,11	1,27
22		ИК <sup>3</sup>	16,54	83,46	12,08	69,88	25,41	–
23	Черешки		27,88	72,12	8,67	61,95	20,46	1,32
о. Попов, с 10 по 15 октября 2020 г. (штормовые выбросы)								
24	Талломы		22,55	77,45	8,04	67,91	20,13	0,85

Примечание: 1 – доставленная в свежем виде; 2 – тепловая сушка с естественной конвекцией воздуха; 3 – тепловая сушка с инфракрасным излучением

рует от 16,26% до 22,94% в июне месяце, а в августе-сентябре от 31,40% до 35,02%. Следует отметить, что наибольшим содержанием альгиновой кислоты характеризуются образцы водорослей, собранных в августе-сентябре. Штормовые выбросы *S. latissima*, собранные в этот период, содержат до 25,4% альгиновой кислоты.

Результаты исследований химического состава талломов и черешков *L. digitata* показывают, что их сухое вещество состоит из минеральных (12,23-29,15%) и органических веществ (70,85-87,77%). Состав органических веществ представлен углеводами (60,62-79,73%), белками (7,04-9,69%), липидами (0,85-1,22%) (табл. 3). Из общего количества углеводов в *L. digitata* наибольшая доля приходится на альгиновую кислоту, содержание которой варьирует от 27,36 до 30,87%.

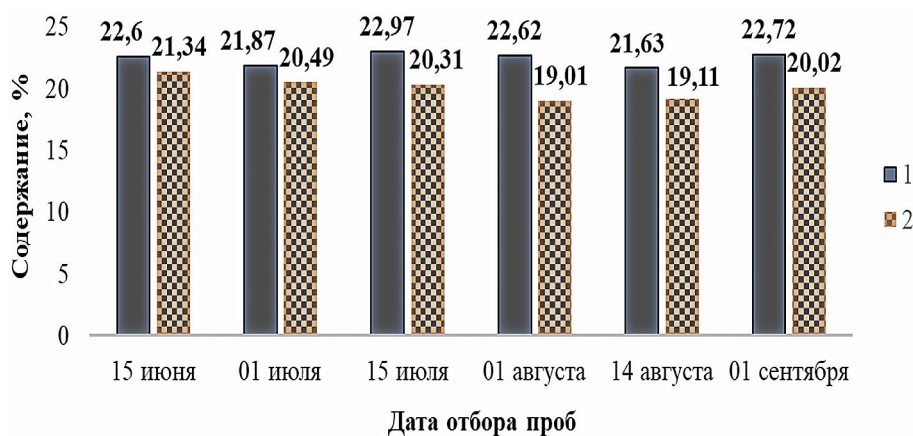
Сезонные изменения химического состава ламинариевых водорослей (*S. latissima* и *L. digitata*) Белого моря были исследованы нами ранее [Репина и др.,

2004; Муравьева, 2010]. Результаты показали, что содержание альгиновой кислоты в них достигает максимума также к летне-осеннему периоду (рис. 7).

**Белок** в образцах ламинарий Белого моря определяли методом Кьельдаля с применением автоанализатора шведской фирмы FOSS Analytical AB, модель FOSS 2300 и рассчитывали с применением коэффициента 6,25. Результаты исследований общего содержания белка в *S. latissima* и *L. digitata* показали, что при сборе сырья в июне этот показатель достигает 9-10% (см табл. 2, 3), что характеризует ламинарии как ценное пищевое сырьё. Аминокислотный состав (АКС) белка в *S. latissima* и *L. digitata* определяли после гидролиза навесок их сушёных биомасс методом ВЭЖХ на автоматическом аминокислотном анализаторе Agasus (membraPure, Германия) с применением постколоночной дериватизации с нингидрином и фотометрическим детектированием на 440 нм и 570 нм после разделения на хроматографической ионооб-

**Таблица 3.** Химический состав *L. digitata* в зависимости от места и сезона сбора в Белом море  
**Table 3.** Chemical composition of *L. digitata* depending on the place and season of collection in the White Sea

№	Описание образца	Содержание, %					
		Сумма веществ		Белка (Nx6,25)	Общих углеводов	Альгиновой к-ты	Липидов
		Минеральных	Органических				
о. Большой Соловецкий, 13.06.2022							
1	Талломы	18,41	81,59	9,69	70,68	27,36	1,22
2	Черешки	29,15	70,85	9,23	60,62	–	–
о. Малая Муксалма, 16.09.2020							
3	Талломы	16,38	83,62	7,36	75,04	30,87	1,22
4	Черешки	12,23	87,77	7,04	79,73	–	0,85



**Рис. 7.** Сезонные изменения содержания альгиновой кислоты в *S. latissima* (1) и *L. digitata* (2) собранных в прибрежных зонах Белого моря [Репина и др., 2004]

**Fig. 7.** Seasonal changes of alginic acid content in *S. latissima* (1) and *L. digitata* (2) collected in the coastal zones of the White Sea [Repina et al., 2004]

менной колонке (кат. номер membraPure 650-0126). В качестве стандарта использовали смесь аминокислот (кат. номер membraPure 650-0036). При этом анализ аминокислотного состава белка в *S. latissima* и *L. digitata* Белого моря показал отсутствие значительной разницы в содержании незаменимых аминокислот (НАК) (3,21% и 3,11%) и заменимых аминокислот (ЗАК) (рис. 8).

ненасыщенными жирными кислотами – в основном линоленовой и линолевой, а также арахидоновой и эйкозапентаеновой.

Липиды растительного происхождения, как и животного, имеют различный ЖК, определяющий их биологическую активность и ценность. Достаточно высоким содержанием омега-3 эйкозапентаеновой кислоты 6,5-6,6% от общей суммы жирных кислот от-



Рис. 8. Аминокислотный состав белка в *S. latissima* (1) и *L. digitata* (2), собранных в летний период в прибрежных зонах Белого моря

Fig. 8. Seasonal changes of the total iodine content in *S. latissima* (1) and *L. digitata* (2) collected from coastal areas of the White Sea

В составе аминокислот белка бурых водорослей обнаружены тирозин и фенилаланин, которые необходимы для синтеза гормонов щитовидной железы – тироксина и тиронина. Кроме того, известно, что практически 50% суммы аминокислот ламинариевых водорослей представлены свободными, легко усваиваемыми организмом формами, а глутаминовая кислота вместе с маннитом придают ещё и специфический сладковато-грибной вкус пищевым водорослям [Подкорытова, 2005]. При этом глутаминовая кислота способствует развитию и улучшению функций головного мозга; аспарагиновая кислота – принимает участие в правильном функционировании не только нервной, но и эндокринной систем.

**Липиды.** Их общее содержание в образцах ламинарий определяли по методу Блайя и Дайера. Результаты показали, что содержание липидов в ламинариях Белого моря невелико и составляет в среднем 1,17-1,22% для талломов *S. latissima* и для черешков – 1,32%. Для талломов *L. digitata* 1,22%, соответственно (см. табл. 2, 3). При этом жирнокислотный состав (ЖК), состав липидов *S. latissima* и *L. digitata* представлен

личаются липиды из талломов и черешков *S. latissima*. В липидах *L. digitata* омега-3 эйкозапентаеновой кислоты содержится намного больше и составляет 13,8% от общей суммы ЖК. Отмечается также достаточно высокое содержание пальмитиновой кислоты – 21,3% и омега-9 олеиновой кислоты более 19,3% от общего содержания ЖК (табл. 4).

Для определения жирнокислотного состава (ЖКС) липиды подвергались прямому метилированию, с использованием в качестве катализатора хлористого ацетила в метаноле в соответствии с МУК [Подкорытова, Кадникова, 2009]. Метилловые эфиры жирных кислот анализировали на хроматографе «Кристалл 5000.2» («Хроматэк») в соответствии с ГОСТ 31663 на капиллярной колонке CR-FAME 100 м × 0,25 мм × 0,2 мкм («Хроматэк»). Идентификацию проводили сравнением со стандартной смесью (Supelco 37 component FAME MIX, Sigma Aldrich CRM47885).

**Минеральный состав** (макро- и микроэлементы) *S. latissima* и *L. digitata* и содержание в них тяжёлых металлов (свинца, ртути, кадмия) и мышьяка были определены методом масс-спектрометрии на квадруполь-

**Таблица 4.** Жирнокислотный состав липидов *S. latissima* и *L. digitata*, собранных в Белом море в летний период  
**Table 4.** Fatty acid composition of lipids from *S. latissima* and *L. digitata* collected in the White Sea during the summer period

Жирные кислоты	Содержание, % от общей суммы жирных кислот			
	<i>L. digitata</i> , о. Малая Муксалма, 16.09.20	<i>S. latissima</i>		
		о. Большой Соловецкий, 07.06.19	о. Кирбостров, 26.09.20	
			слоевища	черешки
C6:0 (капроновая)	н/о	0,170	н/о	0,576
14:0 (миристиновая)	6,311	3,469	3,742	9,414
14:1 (миристолеиновая)	н/о	0,087	н/о	н/о
15:0 (пентадекановая)	0,794	0,278	0,232	н/о
16:0 (пальмитиновая)	21,359	19,634	15,869	10,781
16:1w7 (пальмитолеиновая)	3,326	3,752	4,065	9,947
17:0 (маргариновая)	0,054	н/о	0,146	н/о
18:0 (стеариновая)	0,511	2,837	2,245	1,228
18:1w9 (олеиновая)	19,378	41,410	31,135	14,201
18:2w6 (линолевая)	4,935	12,918	11,248	11,538
18:3w6 (гамма-линоленовая)	0,392	0,282	1,395	н/о
18:3 w3 (альфа-линоленовая)	7,098	3,570	2,639	1,346
20:0 (арахиновая)	0,250	0,272	0,242	н/о
20:1 (гондоиновая)	8,186	2,235	1,908	0,553
20:2 (эйкозадиеновая)	н/о	0,667	0,663	н/о
20:3 w6 (эйкозатриеновая)	0,371	0,508	0,604	2,848
20:4w6 (арахидоновая)	10,509	0,945	6,852	25,014
20:3 w3(эйкозатриеновая)	0,112	0,268	0,109	н/о
22:1 (эруковая)	0,103	0,532	1,390	0,786
20:5w3 (эйкозапентаеновая)	13,802	2,451	6,492	6,615
23:0 (трикозановая)	0,076	0,432	0,463	1,932
24:1 (нервоновая)	н/о	0,154	0,285	н/о
22:6 w3 (докозагексаеновая)	1,731	3,129	8,629	3,222
∑Насыщенные	29,36	27,09	22,94	23,93
∑Мононенасыщенные	30,99	48,17	38,78	25,49
∑ Полиненасыщенные	38,95	24,74	38,63	50,58

Примечание: н/о – не определено.

ном масс-спектрофотометре Nexion 300D и атомно-эмиссионном спектрофотометре Optima 2000 DV (Perkin Elmer, США) в аккредитованной лаборатории в ООО «Микронутриенты», г. Москва.

Результаты исследований *S. latissima* и *L. digitata* показали в них наличие широкого спектра биогенных макро- и микроэлементов (табл. 5). При этом содержание макроэлемента калия в талломах *S. latissima* и *L. digitata* достигает 51959±5196 мкг/г и 49544±4954 мкг/г, соответственно. Эти показатели по содержанию калия в талломах *S. latissima* и *L. digitata* значительно превышают содержание натрия в них. Содержание кальция в *S. latissima* превышает содержание такового

в *L. digitata*. Относительно микроэлементного состава следует отметить во всех исследованных образцах наличие йода, а также микро-количеств цинка, железа, меди, хрома, селена и др.

**Йод** и его содержание в *S. latissima* и *L. digitata* определяют их ценность, как природного источника этого элемента, необходимого для нормального функционирования щитовидной железы и всего организма человека [Подкорытова, 2005]. В соответствии с требованиями ФС 42-1289-79 «Медицинская крупка» на водорослевое сырьё, используемое в качестве йодсодержащего продукта, содержание йода регламентируется на уровне не менее 0,1% в расчёте на сухое

**Таблица 5.** Содержание микро- и макроэлементов в слоевищах *S. latissima* и *L. digitata*, собранных в Белом море в летний период**Table 5.** The content of micro- and macronutrients in the thallomas of *S. latissima* and *L. digitata* collected in the White Sea in summer

Элементы	Символ	Содержание, мкг/г	
		<i>S. latissima</i>	<i>L. digitata</i>
Макроэлементы			
Калий *	K	51959±5196	49544±4954
Натрий *	Na	19523±1952	21430±2143
Кальций *	Ca	9805±980	7026±703
Фосфор *	P	6548±655	5242±524
Магний *	Mg	4839±484	4929±493
Микроэлементы			
Йод	I	299±30	435±44
Цинк	Zn	484±48	399±40
Железо *	Fe	225±22	76,6±7,66
Кремний	Si	275±28	259±26
Алюминий	Al	265±27	192±19
Бор	B	91,35±9,13	73,21±7,32
Медь *	Cu	51,85±5,19	47,67±4,77
Никель	Ni	13,25±1,33	10,1±1,01
Марганец	Mn	17,64±1,76	13,41±1,34
Хром *	Cr	9,77±0,98	5,6±0,56
Селен *	Se	3,38±0,34	3,06±0,31
Ванадий	V	1,18±0,12	0,33±0,04
Литий	Li	3,4±0,34	0,71±0,085
Олово	Sn	0,74±0,089	1,19±0,12
Кобальт *	Co	0,29±0,034	0,17±0,02

Примечание: \* – жизненно необходимые микро- и макроэлементы.

вещество. Проведённые нами ранее исследования сезонных изменений содержания йода в *S. latissima* и *L. digitata* Белого моря показали, что его максимальное количество (сумма минерального и органического йода) составляет 0,23% у *L. digitata* в середине июня (рис. 9).

Содержание маннита – низкомолекулярного углевода, применяемого в различных направлениях в медицине, в *S. latissima* и *L. digitata* в течение всего летнего сезона заметно увеличивается к осени и составляет в этот период в среднем 19-22% (рис. 10), что определяет время сбора водорослей для производства из них это ценного углевода.

Ранее проведёнными исследованиями также было показано, что содержание ламинарана – линейного гомополисахарида, построенного из остатков β-D-глюкопиранозы, соединённых β-(1→3)-гликозидными связями, больше всего обнаруживается в *S. latissima*

[Репина и др., 2004; Энциклопедия ..., 2019]. Ламинаран накапливается в бурых водорослях в процессе их роста и развития, выполняет функции запасного вещества. Больше содержание ламинарана определено в водорослях, собранных в сентябре, и составляет для *S. latissima* – 18,1%, *L. digitata* – 14,3% (рис. 11).

Ламинаран легко экстрагируется из водорослей водой, а также слабыми растворами кислот или с добавлением раствора хлорида кальция, используемого для предотвращения экстракции альгината. В связи с этим, экстракты из *S. latissima* с высоким содержанием ламинарана характеризуются более высокой биологической активностью по этому полисахариду [Усольцева и др., 2019].

Проведённые в разные годы исследования санитарно-гигиенических характеристик *S. latissima* и *L. digitata* и других бурых водорослей Белого моря, собранных в летний период показали, что по содержа-

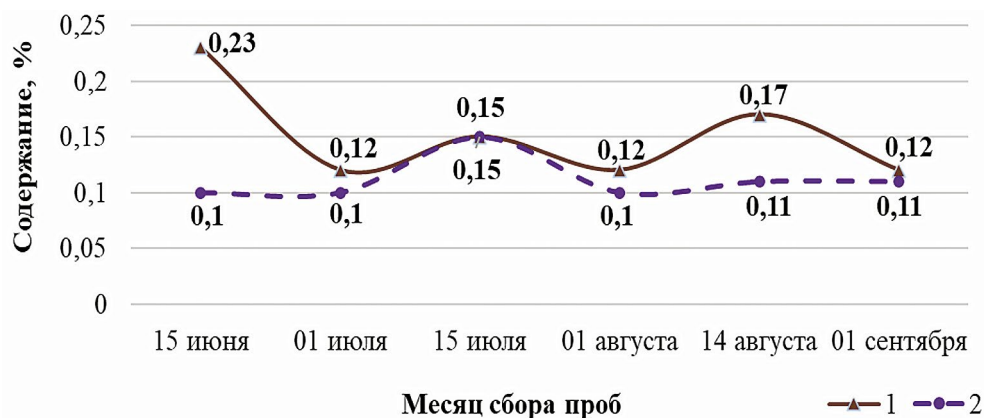


Рис. 9. Сезонные изменения общего содержания йода *S. latissima* (1) и *L. digitata* (2), собранных в прибрежных зонах Белого моря [Репина и др., 2004]

Fig. 9. Seasonal changes in the total iodine content of *S. latissima* (1) and *L. digitata* (2) collected in the coastal zones of the White Sea [Repina et al., 2004]

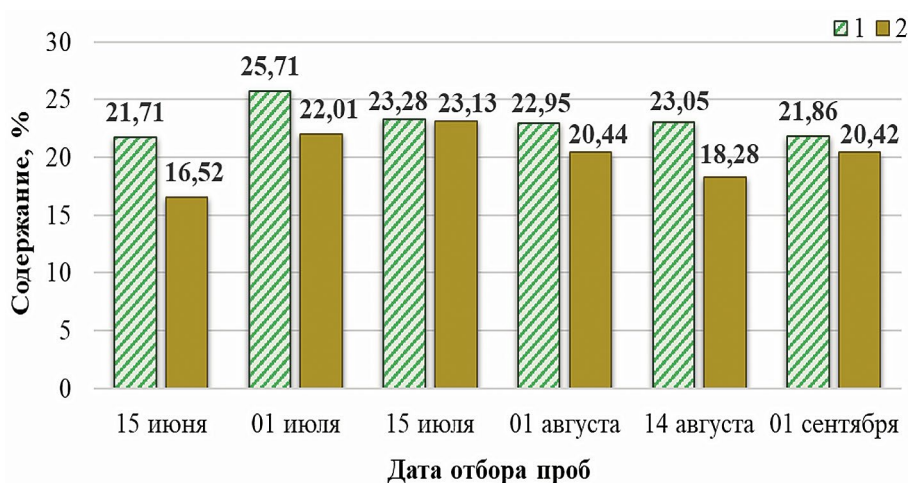


Рис. 10. Сезонные изменения содержания маннита в *S. latissima* (1) и *L. digitata* (2), собранных в прибрежных зонах Белого моря [Репина и др., 2004]

Fig. 10. Seasonal changes of the total iodine content in *S. latissima* (1) and *L. digitata* (2) collected in the coastal zones of the White Sea [Repina et al., 2004]

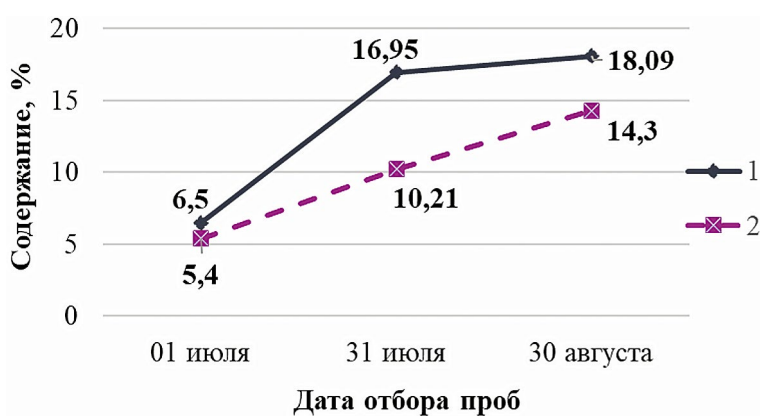


Рис. 11. Сезонные изменения содержания ламинарана в *S. latissima* (1) и *L. digitata* (2), собранных в прибрежных зонах Белого моря [Репина и др., 2004]

Fig. 11. Seasonal changes in the laminaran content of *S. latissima* (1) and *L. digitata* (2) collected in the coastal zones of the White Sea [Repina et al., 2004]

нию токсичных элементов (As, Cd, Hg, Pb) эти водоросли безопасны [Репина и др., 2004; Подкорытова и др., 2009, 2023].

Таким образом, на основании проведённых исследований *S. latissima* и *L. digitata* было установлено, что химические показатели водорослей, такие как содержание альгинатов, маннита, фукоидана, ламинарана, йодсодержащих, а также органических и минеральных элементов определяют направления их использования. Обобщённые результаты показали, что для комплексной переработки пригодны оба вида ламинариевых – *S. latissima* и *L. digitata* активного лова и их штормовые выбросы. Следует отметить, что в связи с высоким содержанием водорастворимых компонентов в *S. latissima* и *L. digitata* необходимо проводить последовательное экстрагирование из них фукоидана, маннита, ламинарана и йодсодержащих компонентов. Из остатка водорослей – экстрагировать в слабощелочной среде альгиновую кислоту в виде альгинатного экстракта, который следует использовать для получения альгината натрия, альгината калия, альгината кальция, альгиновой кислоты или других её производных. Сбор водорослей для их комплексной переработки рекомендуется проводить в августе-сентябре ежегодно.

### Экстрагирование альгината из *S. latissima* и *L. digitata*

Экспериментальные альгинаты натрия были экстрагированы из *S. latissima* и *L. digitata* Белого моря по технологии, разработанной для ламинариевых водорослей дальневосточных морей, опубликованной ранее [Подкорытова 2005; Энциклопедия..., 2019]. Технологические схемы, представленные в этих изданиях, включают следующие операции: предварительная подготовка водорослей, деминерализация (превращение альгинатов кальция, натрия, калия и др., содержащихся в водорослях, в альгиновую кислоту), экстра-

гирование альгиновой кислоты в виде её натриевой соли, фильтрацию экстракта альгината натрия, осаждение альгиновой кислоты, промывание геля альгиновой кислоты, получение пасты альгината натрия, обезвоживание пасты альгината этиловым спиртом, досушивание тепловым способом или сублимационной сушкой альгината натрия, измельчение, упаковывание, хранение.

Для качественной характеристики, экспериментально полученных альгинатов натрия из *S. latissima* и *L. digitata* исследовали следующие показатели: цвет порошка альгината, степень его измельчения, растворимость, химический состав (содержание воды, золы, массовая доля альгиновой кислоты, общего азота, белка), а также показатели водных растворов альгината натрия (вязкость, прозрачность, pH). Определяли молекулярную массу полисахарида по методике в соответствии с МУК [Подкорытова, Кадникова, 2009].

Результаты исследований показали, что технологический выход альгината из *S. latissima* и *L. digitata*, собранных в августе-сентябре, составил в среднем 21%. В альгинатах содержится воды 11,5-12,5% и золы 22,30-23,70%, основного вещества – альгиновой кислоты не менее 75% (табл. 6), что соответствует требованиям к пищевому альгинату натрия в соответствии с ТУ 10.89.19-165-004772124-2023 «Альгинат натрия (SODIUM ALGINATE)».

Результаты исследований минерального состава альгинатов натрия из *S. latissima* и *L. digitata* показали, что содержание катионов  $\text{Na}^+$  в них около 10%, соответствующее необходимому количеству этого элемента. Содержание других элементов в альгинатах обнаружено в микро-количествах, не влияющих на физико-химические характеристики этого полисахарида.

Исследования молекулярной массы (ММ) альгинатов, полученных из *S. latissima* и *L. digitata*, показали, что все они относятся к высокомолекулярным. Их ММ колеблется в интервале 182-259 кДа. Вязкость 0,2%-х

**Таблица 6.** Химический состав альгинатов натрия и их технологический выход из *S. latissima* и *L. digitata* Белого моря  
**Table 6.** Chemical composition of sodium alginates and their technological yield from *S. latissima* and *L. digitata* of the White Sea

Вид водоросли, дата сбора	Технологический выход альгината из водоросли, % сухого в-ва	Содержание, % на сухое в-во			
		Золы	Альгиновой кислоты	Азота (Общ.)	
<i>L. digitata</i>	13.06.22 г.	17,70	22,30	77,03	0,11
	16.09.20 г.	21,00	23,70	76,34	0,11
<i>S. latissima</i>	07.06.22 г.	17,00	23,00	75,00	0,33
	21.08.22 г.	21,10	22,60	77,41	0,16

водных растворов изменяется в интервале  $10,22-12,65 \times 10^{-3}$  Па·с для альгината из *S. latissima* и  $15,08-16,02 \times 10^{-3}$  Па·с для альгината из *L. digitata*. Прозрачность водных растворов всех экспериментальных альгинатов соответствует 93,0-98,7% светопропускания, что свидетельствует о возможности применения их в пищевой отрасли в качестве загустителей пищевых продуктов без изменения их цвета. рН 0,2%-х водных растворов альгинатов составляют 7,05-7,30, что немного выше нейтрального и не влияет на рН готового продукта (табл. 7).

вышений ПДК по содержанию токсичных элементов (As, Cd, Hg, Pb) не обнаружено (табл. 8).

Таким образом, альгинаты натрия, полученные из *S. latissima* и *L. digitata*, по содержанию токсичных элементов являются безопасными и могут быть использованы в различных отраслях, в том числе фармацевтической и пищевой.

Известно, что альгиновые кислоты и их соли альгинаты не имеют питательной ценности и их широкое применение в пищевой промышленности определяется гидрофильно-коллоидными свойствами. Растворы

**Таблица 7.** Физическая характеристика растворов альгинатов натрия, полученных из *S. latissima* и *L. digitata* Белого моря  
**Table 7.** Physical characterization of sodium alginate solutions obtained from *S. latissima* and *L. digitata* of the White Sea

Вид водоросли, дата сбора	Молекулярная масса, тыс. ед.	Характеристика 0,2%-х водных растворов			
		Вязкость, $\text{н} \times 10^{-3}$ Па·с	рН	Прозрачность в % светопропускания	
<i>L. digitata</i>	13.06.22	247	15,08	7,30	98,3
	16.09.20	254	16,02	7,30	98,7
<i>S. latissima</i>	05.06.23	182	10,22	7,15	99,6
	21.08.22	259	16,51	7,05	95,6

Экспериментальные альгинаты натрия – это аморфные, сыпучие, тонкоизмельчённые порошки, без запаха, светло-бежевого цвета, хорошо растворимые в воде при этом образуют вязкие растворы в интервале концентраций 0,1 до 1,5%. В интервале концентраций водного раствора альгината натрия от 2,0 до 4,0% образуется густой коллоид, переходящий в состояние не текучей пасты.

Результаты исследований по безопасности экспериментальных образцов альгинатов натрия из *S. latissima* и *L. digitata* Белого моря показали, что пре-

ры альгината натрия или калия в воде – это гидроколлоиды, обладающие вязкостью и способностью образовывать гели с двухвалентными металлами, за исключением магния. При понижении рН раствора альгината до 3 также образуются гели, склонные к синерезису. Загущающие свойства растворимых в воде альгинатов позволяют их применять в качестве загустителей и стабилизаторов пищевых систем во многих технологических направлениях, в особенности там, где требуется изменить или стабилизировать структуру продукта. Растворы альгинатов в воде обла-

**Таблица 8.** Содержание токсичных элементов в альгинатах натрия, полученных из *S. latissima* и *L. digitata* Белого моря  
**Table 8.** Content of toxic elements in sodium alginates obtained from *S. latissima* and *L. digitata* of the White Sea

Наименование элемента, символ	ПДК*	Содержание, мг/кг порошка альгината натрия, полученного из:		
		<i>S. latissima</i> 07.06.22 г.	<i>L. digitata</i>	
			13.06.22 г.	16.09.20 г.
Мышьяк (As)	3,0	0,9896	0,3110	0,2107
Свинец (Hg)	5,0	0,5495	0,3176	0,5433
Ртуть (Pb)	1,0	0,3199	0,8845	0,6196
Кадмий (Cd)	1,0	0,1655	0,5260	0,5630

Примечание: \* – требования для пищевой добавки альгинат натрия – Е 401 (SODIUM ALGINATE) [ТР ТС 029/2012<sup>8</sup>].

<sup>8</sup> Требования к безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств (ТР ТС 029/2012). 05.08.2025 г.

дают эмульгирующими свойствами, что обуславливает их широкое применение при производстве пищевых мясных, молочных и рыбных систем, а также соусов типа майонеза или кетчупа. Очень часто при разработке новых видов пищевых продуктов необходимо придать им определённую форму или структуру в процессе производства. Получение устойчивых пищевых систем – это одна из сложнейших задач, поэтому одновременно с формированием и гранулированием используют вещества, такие как альгинаты, изменяющие консистенцию и структуру продуктов [Соколова и др., 2003; Подкорытова, 2005].

В последнее время возрос уровень использования альгината при производстве мороженого, потому что он придаёт нежную консистенцию, однородную структуру, уменьшает процесс кристаллизации и значительно увеличивает стабильность структуры при хранении или некотором повышении температуры. Применение альгината позволяет уменьшить количество добавляемого жира и получать мороженое с низким его содержанием [Задегина и др., 2023]. Альгинат добавляют к йогуртам, что улучшает их структуру и консистенцию. При этом полисахарид может быть добавлен в молоко при подготовке молочной основы. Альгинаты используют как пищевые добавки, связывающие воду, препятствующие синерезису белковых соединений и способствующие получению фарша (рыбного или мясного) определённой консистенции. Альгинаты используют как компоненты при получении БАД к пище, которые не являются лекарством, но обладают лечебно-профилактическими свойствами [Вафина, 2010; Zirmire et al., 2023]. Водонерастворимые альгинаты кальция применяют в качестве источника кальция и энтеросорбента радионуклидов и тяжёлых металлов [Беспалов, 2004, 2010<sup>9</sup>; Подкорытова, 2005, 2023; Подкорытова и др., 2022]. Кроме того, альгинаты как биологически активные вещества бурых водорослей, обладают широким спектром лечебных [Акулина и др., 2025] и профилактических эффектов. Водорастворимые альгинаты натрия, калия, магния обладают обволакивающим, ранозаживляющим, обезболивающим и антацидным действием и их с успехом применяют при лечении желудочно-кишечного тракта, в том числе, при лечении гастроэзофагеальной рефлюксной болезни [Бордин и др., 2020]. Альгинаты в последние годы активно используются при производстве СПП, БАД, абсорбентов, фармацевтических средств и применяются в качестве составного компонента рационов здорового питания.

<sup>9</sup> Беспалов В.Г. 2010. Альгинат кальция. Источник растворимых пищевых волокон и кальция. М.: 26 с. [https://uralargo.ru/books/pdf/alginat\\_kalcia.pdf](https://uralargo.ru/books/pdf/alginat_kalcia.pdf)

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании результатов биологических исследований, включая и морфометрические измерения *S. latissima* из Онежской губы Белого моря, проведённых в течение летнего периода 2022 г., установлено, что растения возраста 2+ – и 3+ обладают наиболее высокими производственными характеристиками для их промысла и переработки. Разработаны рекомендации по срокам сбора, первичной обработке свежесобранных *S. latissima* и *L. digitata* и их сушке.

Результаты исследований химического состава и технологических характеристик *S. latissima* и *L. digitata* показали их высокий химико-технологический потенциал, определяющий широкие перспективы для использования и комплексной переработки:

– *S. latissima* и *L. digitata* характеризуются как ценное пищевое сырьё по содержанию белка и аминокислот, а также липидов, содержащих омега-3 жирные кислоты, и рекомендуются к использованию в качестве основы или самостоятельного компонента при приготовлении пищевых продуктов широкого спектра наименований. Сбор водорослей для их использования в качестве пищевых следует проводить в июне-июле;

– *S. latissima* и *L. digitata* содержат комплекс биологически активных веществ, таких как структурообразующие гетерополисахариды – альгиновые кислоты в форме альгинатов, ламинаран, маннит, фукоидан, органический и минеральный йод, а также минеральные микро- и макроэлементы, витамины, свойственные бурым водорослям;

– содержание альгиновой кислоты в слоевищах *S. latissima* и *L. digitata* к августу-сентябрю достигает 31,4-35,0% и 30,87%, технологический выход альгината из них составляет в среднем 21%, молекулярная масса альгинатов – 250 кДа.

Установлено, что *S. latissima* и *L. digitata* перспективно использовать как полноценное сырьё для производства пищевых продуктов, биологически активных добавок к пище (БАД), а также альгинатов – загустителей и структурообразователей, абсорбентов радионуклидов и тяжёлых металлов, для медицины и фармацевтики и пищевой отрасли.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

## Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания ВНИРО.

## ЛИТЕРАТУРА

- Акулина Е.А., Бонарцева Г.А., Дудун А.А., Кочевалина М.Ю., Бонарцев А.П., Воинова В.В. 2025. Современное состояние изучения механизмов биологической активности альгинатов // Успехи биологической химии. Т. 65. С. 381-418.
- Амелькина А.С., Анциферов М.Ю., Бакай Ю.И., Баканев С.В., Бальякин Г.Г., Безбородов А.С. и др. 2024. Состояние сырьевых биологических ресурсов Баренцева, Белого и Карского морей и Северной Атлантики в 2024 г. Мурманск: ПИНРО им. Н.М. Книповича. 168 с.
- Аминина Н.М., Акулин В.Н., Якуш Е.В. 2020. Морские растения перспективный источник кормов и удобрений для сельского хозяйства // Рыбное хозяйство. № 5. С. 67-70. DOI: 10.37663/0131-6184-2020-5-67-70.
- Беспалов В.Г. 2004. Лечебно-профилактические препараты из морских водорослей. СПб.: СПбПУ. 160 с.
- Блинова Е.И. 2007. Водоросли-макрофиты и травы морей европейской части России (флора, распространение, биология, запасы, марикультура). М.: Изд-во ВНИРО. 114 с.
- Бокова Е.М., Титов В.М. 2002. Сырьевые и производственные проблемы Архангельского водорослевого комбината // Мат. I Межд. науч.-практ. конф. «Морские прибрежные экосистемы: водоросли, беспозвоночные и продукты их переработки». М.: Изд-во ВНИРО. С. 110-116.
- Бордин Д.С., Валитова Э.Р., Эмбутниекс Ю.В., Березина О.И., Кононова А.Г., Колбасников С.В., Бор С. 2020. Альгинаты в лечении гастроэзофагеальной рефлюксной болезни // Эффективная фармакотерапия. Т. 16. № 1. С. 12-18. DOI: 10.33978/2307-3586-2020-16-1-12-18.
- Вафина Л.Х. 2010. Обоснование комплексной технологии переработки бурых водорослей (Phaeophyta) при получении функциональных пищевых продуктов. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М.: ВНИРО. 24 с.
- Евсеева Н.В., Матюшкин В.Б., Березина М.О., Мельник Р.А., Левицкий А.Л., Власов Д.О., Саенко Е.М., Жильцова Л.В., Белый М.Н., Дуленин А.А., Прохорова Н.Ю., Сологуб Д.О., Ботнев Д.А. 2024. Состояние ресурсов и промысел водорослей и морских трав в морях России в 2000-2020 гг. // Труды ВНИРО. Т. 195. С. 232-248. DOI: 10.36038/2307-3497-2024-195-232-248.
- Задегерина П.Г., Череватова К.А., Борисова А.В. 2023. Получение низкожирного мороженого с использованием трехкомпонентных матриц // Вестник КрасГАУ. № 4. С. 180-187. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-4-180-187.
- Кизеветтер И.В., Грюнер В.С., Евтушенко В.А. 1967. Переработка морских водорослей и других промысловых водных растений. М.: Пищевая промышленность. 415 с.
- Корзун В.Н., Воронова Ю.Г., Парац А.Н., Подкорытова А.В., Рогальская Л.А., Сагло В.И., Скорикова А.И. 1992. Альгинатная профилактика внутреннего облучения с помощью <sup>90</sup>Sr. Медицинская радиология, 37(5-6), с. 31-34.
- Корзун В.Н., Сагло В.И., Беседина Т.В., Воронова Ю.Г., Подкорытова А.В. 1993. Опыт использования продуктов моря в питании населения, проживающего в районах жёсткого радиационного контроля // Вопросы питания. № 2. С. 36-38.
- Михайлова Т.А. 2001. Развитие ценопопуляций *Laminaria saccharina* (Phaeophyta) при заселении свободного субстрата в Белом море // Ботанический журнал. Т. 86. № 12. С. 24-31.
- Муравьева Е.А. 2010. Комплексная технология получения экстрактивных БАВ из бурых водорослей Белого моря // Рыбпром: технологии и оборудование для переработки водных биоресурсов. № 3. С. 54-57.
- Подкорытова А.В. 1980. Динамика некоторых свободных аминокислот ламинарии японской в процессе роста и созревания репродуктивной ткани // Исследования по технологии новых объектов промысла. Владивосток: Изд. ТИНРО. С. 53-57.
- Подкорытова А.В. 2005. Морские водоросли-макрофиты. М.: Изд-во ВНИРО. с. 175.
- Подкорытова А.В. 2023. Полисахариды морских бурых водорослей как природные абсорбенты радионуклидов и тяжёлых металлов // Рыбохозяйственный комплекс России: проблемы и перспективы развития. I Межд. науч.-практ. конф. М.: ВНИРО. С. 385-391.
- Подкорытова А.В., Аминина Н.М., Ковалева Е.А., Корзун В.Н., Парац А.Н. 1992. Изменение сорбционной активности альгиновой кислоты при получении лечебно-профилактической продукции // Известия ТИНРО. Т. 114. С. 146-149.
- Подкорытова А.В., Архипов Л.О., Межонов А.В. 2022. Морские водоросли-макрофиты и их роль в решении проблем продовольственного и фармацевтического обеспечения населения России в современных условиях // Теория и практика мировой науки. № 12. С. 109-113.
- Подкорытова А.В., Вафина Л.Х., Игнатова Т.А. 2017. Кормовые добавки из морских водорослей и продуктов их переработки. М.: Изд-во ВНИРО. 70 с.
- Подкорытова А.В., Вафина Л.Х., Муравьева Е.А., Шарина З.Н. 2009. Санитарно-гигиеническая характеристика бурых водорослей Белого и Баренцева морей // Рыбпром: технологии и оборудование для переработки водных биоресурсов. № 4. С. 33-39.
- Подкорытова А.В., Кадникова И.А. 2009. Качество, безопасность и методы анализа продуктов из гидробионтов. Руководство по современным методам исследований морских водорослей, трав и продуктов их переработки. Вып. 3. М.: ВНИРО. 108 с.
- Подкорытова А.В., Рощина А.Н. 2021. Морские бурые водоросли – перспективный источник БАВ для медицинского, фармацевтического и пищевого применения // Труды ВНИРО. Т. 186. С. 156-172. DOI: 10.36038/2307-3497-2021-186-156-172.
- Подкорытова А.В., Усов А.И., Евсеева Н.В., Рощина А.Н. 2023. Промысловые водоросли Белого и Чёрного морей прибрежных зон России: запасы, химический состав, строение, свойства полисахаридов, рациональное использование // Труды ВНИРО. Т. 193. С. 190-215. DOI: 10.36038/2307-3497-2023-193-190-215.
- Пронина О.А., Воробьев А.В., Мельник Р.А., Михайлова Т.А., Березина М.О., Грибковский Д.А., Шилова Н.А. 2008. Методические рекомендации по организации сбора первичной биологической информации, оценке запасов и ОДУ про-

мысловых водорослей Белого моря. Мурманск: Изд-во ПИНРО. 74 с.

Пронина О.А., Репина О.И. 2005. Беломорские промысловые водоросли: сырьевая база, промысел и технологии переработки // Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря. Мат. IX межд. конф. 11-14 октября 2004. Петрозаводск. С. 269-273.

Репина О.И., Муравьева Е.А., Подкорытова А.В. 2004. Динамика химического состава промысловых бурых водорослей Белого моря // Труды ВНИРО. Т. 143. С. 93-99.

Соколова В.М., Талабаева С.В., Подкорытова А.В. 2003. Исследование реологических свойств рыбных фаршей при создании продуктов типа суфле // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. № 2-3(273-274). С. 92-94.

Усольцева Р.В., Звягинцева Т.Н., Ермакова С.П. 2019. Структурное разнообразие ламинаранов бурых водорослей, перспективы их использования // Вестник ДВО РАН. № 5. С. 84-89.

Штильман М.И., Подкорытова А.В., Немцев С.В., Кряжев В.Н., Пешехонова А.Л., Сдобникова О.А. и др. 2015. Технология полимеров медико-биологического назначения. Полимеры природного происхождения. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 328 с.

Энциклопедия «Пищевые технологии». Технологии рыбной промышленности. 2019. Ч. 2. / Л.С. Абрамова ред. М.: Изд-во ВНИРО. С. 183-225.

Fertah M., Belfkira A., Dahmane E., Taourirte M., Brouillette F. 2014. Extraction and characterization of sodium alginate from Moroccan *Laminaria digitata* brown seaweed // Arabian Journal of Chemistry. V. 10. P. 3707-3714. DOI: 10.1016/j.arabj.2014.05.003.

Hesp R., Romsbottom B. 1965. Effect of sodium alginate in inhibiting uptake of radiostromium by the human body // Nature. V. 208. P. 1341-1342.

Lorbeer A.J., Charoensiddhi S., Lahnstein J., Lars C., Franco C.M.M., Bulone V., Zhang W. 2017. Sequential extraction and characterization of fucoidans and alginates from *Ecklonia radiata*, *Macrocystis pyrifera*, *Durvillaea potatorum*, and *Seirococcus axillaris* // J. Appl. Phycol. V. 29 (3). P. 1515-1526. DOI: 10.1007/s10811-016-0990-5

Lorbeer A.J., Lahnstein J., Bulone V., Nguyen T., Zhang W. 2015. Multiple-response optimization of the acidic treatment of the brown alga *Ecklonia radiata* for the sequential extraction of fucoidan and alginate // Bioresource technology. V. 197(11). P. 302-309. DOI: 10.1016/j.biortech.2015.08.103.

Schiener P., Black K.D., Stanley M.S., Green D.H. 2015. The seasonal variation in the chemical composition of the kelp species *Laminaria digitata*, *Laminaria hyperborea*, *Saccharina latissima* and *Alaria esculenta* // Journal of Applied Phycology. V. 27(1). P. 363-373. DOI: 10.1007/s10811-014-0327-1.

Seaweed Resources of The World. 1998. / A.T. Critchly, M. Ohno eds. Kanagawa International Fisheries Centre. Jap. Int. Coop. Agency. 431 p.

Zirmire P., Bhalekar G., Deshmukh M.T. 2023. Alginates: Properties, Alginates Based New Materials use in Biopharmaceutical Applications and Future Prospectives //

International Journal of Research Publication and Reviews. V. 4. № 7. P. 2504-2510.

## REFERENCES

Akulina E.A., Bonartseva G.A., Dudun A.A., Kochevalina M.Y., Bonartsev A.P., Voinova V.V. 2025. Current state of study mechanisms biological activity of alginates // Successes of Biological Chemistry. V. 65. P. 381-418. (In Russ.)

Amelkina A. S., Antsiferov M. Y., Bakai Yu. Bakanev S. V., Balyakin G. G., Bezborodov A. S. et al. 2024. Status of the living marine resources in the Barents, White and Kara Seas and the North Atlantic in 2024. Murmansk: N.M. Knipovich PINRO Publish. 168 p. (In Russ.)

Aminina N.M., Akulin V.N., Yakush E.V. 2020. Marine plants a promising source of fodder and fertiliser for agriculture // Fishery. № 5. P. 67-70. DOI: 10.37663/0131-6184-2020-5-67-70. (In Russ.)

Bespalov V.G. 2004. Therapeutic and prophylactic preparations from seaweeds. Sankt-Peterburg: SPBPU Publish. 160 p. (In Russ.)

Blinova E.I. 2007. Seaweeds and seagrasses of the seas of the European part of Russia (flora, distribution, biology, resources, mariculture). Moscow: VNIRO Publish. 114 p. (In Russ.)

Bokova E.M., Titov V.M. 2002. Raw materials and production problems of the Arkhangelsk Algae Combine // Proc. of the I Intern. Scient. and Pract. Conf. «Marine coastal ecosystems: algae, invertebrates and products of their processing». Moscow: VNIRO Publish. P. 110-116. (In Russ.)

Bordin D.S., Valitova E.R., Embutnieks J.V. Beresina O.I., Kononova A.G., Kolbasnikov S.V., Bor S. 2020. Alginates in the treatment of gastroesophageal reflux disease // Effective Pharmacotherapy. T. 16. № 1. P. 12-18. DOI 10.33978/2307-3586-2020-16-1-12-18. (In Russ.)

Vafina L.Kh. 2010. Substantiation of the complex technology of processing brown algae (Phaeophyta) in obtaining functional food products. Abstract. PhD Diss. in technic. Moscow: VNIRO. 24 p. (In Russ.)

Evseeva N.V., Matyushkin V.B., Berezina M.O., Melnik R.A., Levitsky A.L., Vlasov D.O., Saenko E.M., Zhiltsova L.V., Bely M.N., Dulinin A.A., Prokhorova N.Y., Sologub D.O., Botnev D.A. 2024. State of resources and fishery of algae and sea grasses in the seas of Russia in 2000-2020 // Trudy VNIRO. V. 195. P. 232-248. DOI: 10.36038/2307-3497-2024-195-232-248. (In Russ.)

Zadergina P.G., Cherevatova K.A., Borisova A.V. 2023. Production of Low-Fat Ice Cream Using Three-Component Matrices // Bulletin of KrasGAU. No. 4. P. 180-187. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-4-180-187. (In Russ.)

Kisevetter I.V., Gruner V.S., Evtushenko V.A. 1967. Processing of Seaweeds and other commercial aquatic plants. Moscow: Food Industry. 415 p. (In Russ.)

Korzun V.N., Voronova Yu.G., Parats A.N., Podkorytova A.V., Rogalskaya L.A., Saglo V.I., Skorikova A.I. 1992. Alginate prevention of internal irradiation with<sup>90</sup>Sr // Medical radiology. V. 37. No. 5-6. P. 31-34. (In Russ.)

Korzun V.I., Saglo V.I., Besedina T.V., Voronova Yu.G., Podkorytova A.V. 1993. The experience of using marine products in the nutrition of the population living in areas

- of strict radiation control // Nutrition issues. No. 2. P. 36-38. (In Russ.)
- Mikhailova T.A. 2001. Development of *Laminaria saccharina* (Phaeophyta) cenopopulations during settlement of free substrate in the White Sea // Botanical Journal. V. 8. № 12. P. 24-31. (In Russ.)
- Muravyeva E.A. 2010. Complex technology for obtaining extractive BAS from brown algae of the White Sea // Rybprom: technologies and equipment for processing aquatic biological resources. № 3. P. 54-57. (In Russ.)
- Podkorytova, A.V. 1980. Dynamics of some free amino acids in Japanese kelp during the growth and maturation of reproductive tissue // Research on the technology of new fishing objects. Vladivostok: TINRO Publish. P. 53-57.
- Podkorytova A.V. 2005. Marine macrophytic algae and grasses. Moscow: VNIRO Publish. 175 p. (In Russ.)
- Podkorytova A.V. 2023. Polysaccharides of marine brown algae as natural absorbents of radionuclides and heavy metals // Fishery complex of Russia: problems and prospects of development: I International Scientific and Practical Conference. Moscow: VNIRO Publish. P. 385-391. (In Russ.)
- Podkorytova A.V., Aminina N.M., Kovaleva E.A., Korzun V.N., Parats A.N. 1992. Changes in the sorption activity of alginic acid during the production of Medical and preventative products // Izvestiya TINRO. V. 114. P. 146-149. (In Russ.)
- Podkorytova A.V., Arkhipov L.O., Mezhiyonov A.V. 2022. Marine algae-macrophytes and their role in solving the problems of food and pharmaceutical supply of the Russian population in modern conditions // Theory and Practice of World Science. № 12. P. 109-113. (In Russ.)
- Podkorytova A.V., Vafina L.H., Ignatova T.A. 2017. Feed additives from seaweeds and products of their processing. Moscow: VNIRO Publish. 70 p. (In Russ.)
- Podkorytova A.V., Vafina L.Kh., Muravyeva E.A., Sharina Z.N. 2009. Sanitary and hygienic characteristics of brown algae of the White and Barents Seas // Rybprom: technologies and equipment for processing aquatic biological resources. No. 4. P. 33-39.
- Podkorytova A.V., Kadnikova I.A. 2009. Quality, Safety, and Methods of Analysis of Hydrobiont Products. Guide to Modern Methods of Research on Seaweed, Herbs, and Their Processing Products. Issue 3. Moscow: VNIRO. 108 p.
- Podkorytova A.V., Roschina A.N. 2021. Marine brown algae – perspective source of BAS for medical, pharmaceutical and food use. // Trudy VNIRO. V. 186. P. 156-172. DOI: 10.36038/2307-3497-2021-186-156-172. (In Russ.)
- Podkorytova A.V., Usov A.I., Evseeva N.V., Roshchina A.N. 2023. Commercial algae in the White and Black Seas of the Russia coastal zones: stocks, chemical composition, structure, properties of polysaccharides, rational use // Trudy VNIRO. V. 193. P. 190-215. (In Russ.) DOI: 10.36038/2307-3497-2023-193-190-215. (In Russ.)
- Pronina O.A., Vorobyov A.V., Melnik R.A., Mikhailova T.A., Berezina M.O., Gribkovsky D.A., Shilova N.A. 2008. Methodological recommendations for organizing the collection of primary biological information, assessing the reserves and ODU of commercial algae in the White Sea. Murmansk: PINRO Publish. 74 p.
- Pronina O.A., Repina O.I. 2005. White Sea commercial algae: raw materials, fishing, and processing technologies // Problems of studying, rational use, and protection of the White Sea's natural resources. Mat. IX Int. Conf. 11-14 October 2004. Petrozavodsk. P. 269-273. (In Russ.)
- Repina O.I., Muravyeva E.A., Podkorytova A.V. 2004. Dynamics of the Chemical Composition in Commercial Brown Algae from the White Sea // Trudy VNIRO. V. 143. P. 93-99. (In Russ.)
- Sokolova V.M., Talabaeva S.V., Podkorytova A.V. 2003. Investigation of rheological properties of fish mince when creating souffle-type products // Izvestiya Higher Educational Institutions. Food technology. № 2-3 (273-274). P. 92-94. (In Russ.)
- Usoltseva R.V., Zvyagintseva T.N., Ermakova S.P. 2019. Structural Diversity of Laminarians from Brown Algae, Prospects for Use // Bulletin of the FEB RAS. No. 5. P. 84-89. (In Russ.)
- Shtilman M.I., Podkorytova A.V., Nemtsev S.V., Kryazhev V.N., Peshkhonova A.L., Sdobnikova O.A. et al. 2015. Technology of Biomedical Polymers. Polymers of Natural Origin. Moscow: BINOM. Laboratoriya Znaniy. 328 p. (In Russ.)
- Encyclopedia «Food Technologies». Fish Industry Technologies. 2019. Part 2. / L.S. Abramova ed. Moscow: VNIRO Publish. P. 183-225. (In Russ.)
- Fertah M., Belfkira A., Dahmane E., Taourirte M., Brouillette F. 2014. Extraction and characterization of sodium alginate from Moroccan *Laminaria digitata* brown seaweed // Arabian Journal of Chemistry. V. 10. P. 3707-3714. DOI: 10.1016/j.arabj.2014.05.003.
- Hesp R., Romsbottom B. 1965. Effect of sodium alginate in inhibiting uptake of radiostrontium by the human body // Nature. V. 208. P. 1341-1342.
- Lorbeer A.J., Charoensiddhi S., Lahnstein J., Lars C., Franco C.M.M., Bulone V., Zhang W. 2017. Sequential extraction and characterization of fucoïdins and alginates from *Ecklonia radiata*, *Macrocystis pyrifera*, *Durvillaea potatorum*, and *Seirococcus axillaris* // J. Appl. Phycol. V. 29 (3). P. 1515-1526. DOI: 10.1007/s10811-016-0990-5
- Lorbeer A.J., Lahnstein J., Bulone V., Nguyen T., Zhang W. 2015. Multiple-response optimization of the acidic treatment of the brown alga *Ecklonia radiata* for the sequential extraction of fucoïdian and alginate // Bioresource technology. V. 197(11). P. 302-309. DOI: 10.1016/j.biortech.2015.08.103.
- Schiener P., Black K.D., Stanley M.S., Green D.H. 2015. The seasonal variation in the chemical composition of the kelp species *Laminaria digitata*, *Laminaria hyperborea*, *Saccharina latissima* and *Alaria esculenta* // Journal of Applied Phycology. V. 27(1). P. 363-373. DOI: 10.1007/s10811-014-0327-1.
- Seaweed Resources of The World. 1998. / A.T. Critchly, M. Ohno eds. Kanagawa International Fisheries Centre. Jap. Int. Coop. Agency. 431 p.
- Zirmire P., Bhalekar G., Deshmukh M.T. 2023. Alginates: Properties, Alginates Based New Materials use in Biopharmaceutical Applications and Future Prospectives // International Journal of Research Publication and Reviews. V. 4. № 7. P. 2504-2510.

Поступила в редакцию 30.04.2025 г.  
Принята после рецензий 11.07.2025 г.



УДК 639.321

## Аквакультура

# Научная и экономическая логика развития глубоководного морского рыбоводства в Китае

Дун Шуанлинь<sup>1</sup>, Су Юэпэн<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Лаборатория морского рыбоводства Министерства образования при Океанологическом университете Китая, ул. Юшань д.5 г. Циндао, пров. Шаньдун, 266003;

<sup>2</sup> Бюро развития морского хозяйства города Чжухай, ул. Синье, д.121 г. Чжухай, пров. Гуандун, 519000

E-mail: dongsl@ouc.edu.cn

За последние десятилетия объёмы аквакультурного производства в Китае неуклонно росли, но при этом происходил также устойчивый рост выбросов азота и фосфора, а также энергопотребления на каждую тонну продукции. Развитие аквакультуры столкнулось с «тройной дилеммой» – невозможностью одновременно достичь трех целей: снижения выбросов, сокращения энергозатрат и увеличения объёмов производства.

Авторы считают, что развитие глубоководной морской аквакультуры может стать ключом к решению этой дилеммы. В Китае такое развитие должно начинаться с укрепления основ модели разведения и приоритетного разрешения трех базовых противоречий:

- между прибыльностью предприятий и соотношением цена/качество продукции на рынке;
- между высокой углеродной нагрузкой продукции и ожиданиями по «зелёным» (экологичным) стандартам;
- между автоматизацией производства и трудоустройством прибрежных рыбаков, вынужденных менять профессию из-за трансформации отрасли.

На тактическом уровне предлагается использовать дифференцированные рыночные модели аквакультуры для повышения экономической эффективности глубоководного рыбоводства.

На стратегическом уровне необходимо создавать масштабные модели интеграции различных отраслей, чтобы снизить издержки разведения и ускорить строительство «голубого зернохранилища» (символ устойчивой морской продовольственной базы).

**Ключевые слова:** глубоководное морское рыбоводство; углеродный след; соотношение цена\качество продукции; устойчивая морская продовольственная база; морские пастбища; модель аквакультуры.

## Scientific and economic logic of deep-offshore mariculture development

Dong Shuanglin<sup>1</sup>, Su Yuepeng<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Key Laboratory of Mariculture of Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao Yushan rd 5 266003, China

<sup>2</sup> Municipal Marine Development Bureau, Xingye rd 121 Zhuhai 519000, China

In recent decades, the intensification levels of aquaculture systems in China have witnessed a rapid escalation, and the ongoing intensification of aquaculture systems will also lead to an increase in N and P discharge and energy consumption per unit weight gain. In the context of the national implementation of the «double carbon» strategy and society's pursuit of an improved quality of life, the development of aquaculture is facing the «trilemma», that is, it is impossible to achieve the triple goals of N, P discharge reduction, energy saving and production increase at the same time. The deeper-offshore area possesses robust natural purification capabilities and abundant non-fossil energy resources. With appropriate models and layouts, deeper-offshore aquaculture is expected to emerge as a pivotal solution to address the «trilemma». In recent years, China's deeper-offshore aquaculture developed rapidly, and there are some problems that are being solved. However, from a more macro and long-term perspective, there are three contradictions that should be paid attention to and solved, namely, enterprise profitability *versus* product affordability, clean energy-based products *versus* carbon-intensive products, and automated operation *versus* reemployment of coastal fishermen. At the tactical level, market differentiation mode can be implemented to improve its profitability. At the strategic level, the large-scale integration of multi-industries should be innovated to solve aforementioned contradictions.

**Keywords:** deeper-offshore aquaculture; carbon footprint; product affordability; blue granary; marine ranch; aquaculture mode.

## 我国深远海养殖发展的科学和经济逻辑

中国渔业经济, 2024年第6期 第42卷.10-20页

董双林<sup>1</sup>, 苏跃朋<sup>2</sup>

(1. 中国海洋大学 教育部海水养殖重点实验室, 山东 青岛 266003; 2. 珠海市海洋发展局, 广东 珠海 519000)

**摘要:**过去几十年,我国水产养殖产量持续攀升,生产每吨产品的氮磷排放量和能耗也在持续增加。水产养殖发展正面临“三难困境”,即不可能同时实现减排、节能和增产这三重任务。本文认为,发展深远海养殖有望成为破解“三难困境”的重要途径。我国深远海养殖应首先打牢养殖模式根基,优先解决三对基本矛盾,即企业盈利性与产品市场性价比、高碳足迹产品与绿色产品期望、自动化生产与近岸转产转业渔民再就业。在战术层面,可选择市场差异化养殖模式来提高深远海养殖的经济性;在战略层面,应创建规模化多产业融合模式,降低养殖成本,加快建设蓝色粮仓。

**关键词:**深远海养殖;碳足迹;产品性价比;蓝色粮仓;海上牧场;养殖模式

(责任编辑 耿瑞/校对 雪梅/英文编辑 赵蕾)

中图分类号:F326.401 文献标识码:A 文章编号:1009-(2024)06-0010-07

### ВВЕДЕНИЕ

10 апреля 2023 года Генеральный секретарь Си Цзиньпин во время инспекционной поездки в провинцию Гуандун подчеркнул необходимость формирования комплексного подхода к продовольственной безопасности, а также строительства морских пастбищ и создание устойчивой морской продовольственной базы. В июне 2023 года Министерство сельского хозяйства и сельских районов Китая совместно с восьмью другими ведомствами выпустило «Позиции по ускорению развития глубоководного морского рыболовства». В отличие от морских пастбищ, ориентированных на охрану экологической среды, развитие так называемых «оснащённых» морских пастбищ (или глубоководной морской аквакультуры) в Китае в настоящее время располагает благоприятными внешними условиями. В настоящей статье кратко рассматриваются с научной и экономической точек зрения необходимость и срочность развития глубоководного рыболовства, основные противоречия и инновационные модели с целью способствовать здоровому и устойчивому развитию отрасли в Китае.

### I. НАУЧНАЯ ЛОГИКА РАЗВИТИЯ ГЛУБОКОВОДНОГО МОРСКОГО РЫБОВОДСТВА В КИТАЕ: ПРЕДПОСЫЛКИ И СТРАТЕГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ

#### 1.1. Развитие глубоководного морского рыболовства – стратегическая мера по преодолению ограничений, связанных с природными ресурсами и окружающей средой Китая

В 2022 году общий объём производства водных биоресурсов в Китае, включая как промысел, так и аквакультуру, составил 68,66 млн тонн, при этом на аквакультуру пришёлся 81% от общего объёма

(55,65 млн тонн). Из общего объёма продукции аквакультуры 59% обеспечиваются за счёт пресноводного рыболовства [Статистический ежегодник ..., 2012].

Китай является ведущей страной в мире по масштабам аквакультуры, однако одновременно входит в число 13 государств с наиболее острым дефицитом водных ресурсов: на одного жителя страны приходится лишь четверть от среднемирового уровня водообеспеченности [У и др., 2006]. Кроме того, Китай испытывает острую нехватку пахотных земель – средняя обеспеченность пахотными угодьями на душу населения составляет менее 40% от мирового показателя [Чжоу, Тянь, 2021].

Ограниченность земельных и пресноводных ресурсов существенно сдерживает увеличение объёмов пресноводного рыболовства за счёт дальнейшего расширения площадей прудовой аквакультуры или повышения скорости водообмена. В этой связи на развитие морской аквакультуры возлагаются большие надежды. Однако масштаб прибрежного морского рыболовства в Китае уже приблизился к предельной нагрузке на морские акватории [Ли, Хань, 2019], и переход от прибрежного к оффшорному и глубоководному рыболовству стал основным направлением развития.

В опубликованном в 2019 году совместном документе Министерства сельского хозяйства и сельских районов КНР и ещё десяти ведомств «Позиции по содействию экологически устойчивому развитию аквакультуры» подчёркивается, что рыболовная отрасль в целом должна стремиться к «повышению качества и эффективности, сокращению объёмов и увеличению доходов», а также к расширению пространства для аквакультуры за счёт развития «экологически чистого глубоководного морского рыболовства», чтобы преодолеть ситуацию ограниченности природных ресурсов и обеспечить устойчивое развитие отрасли.

## 1.2. Развитие глубоководного морского рыбоводства – важный путь к преодолению «тройной дилеммы» в рыбоводной отрасли Китая

В Китае история разведения рыбы насчитывает около 8000 лет [Nakajima et al., 2017]. Однако на протяжении большей части этого времени масштабы аквакультуры оставались ограниченными, а преобладающими были такие формы, как поликультура в прудах или комплексное (интегрированное) рыбоводство, что в целом не вызывало существенных экологических проблем.

Ситуация начала меняться в 1970-х годах, когда в Китай были завезены и стали активно внедряться западные технологии: искусственные гранулированные корма, аэраторы и современные методы садкового (клеточного) рыбоводства. В результате объём производства в прудовой аквакультуре стремительно вырос, а зоны выращивания водных биоресурсов расширились за пределы прудов, охватив озера, водохранилища и прибрежные морские воды. На этом фоне стали всё отчетливее проявляться негативные экологические последствия аквакультуры [Дун и др., 2023].

Особенно в последние десятилетия, по мере повышения степени интенсификации аквакультурных систем, объёмы производства рыбоводства Китая неу-

клонно росли [Дун, 2019 а]. Однако вместе с этим резко увеличились и такие показатели, как энергопотребление на единицу продукции, а также выбросы азота и фосфора в окружающую среду [Сюй и др., 2011; Дун и др., 2023].

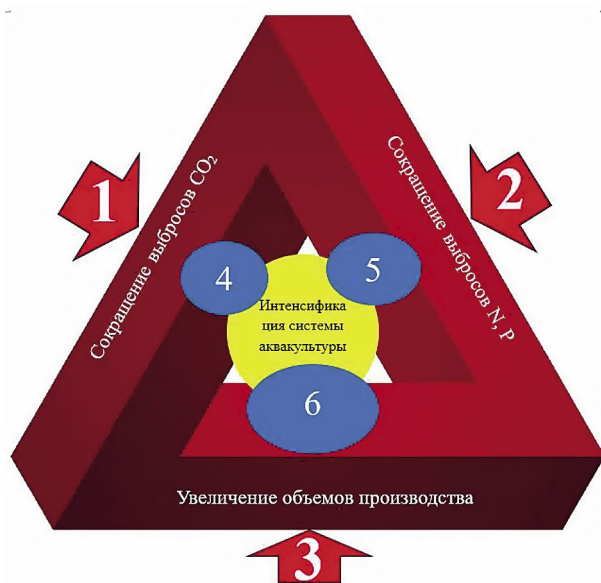
В настоящее время спрос китайских потребителей на высококачественные продукты питания неуклонно растёт, одновременно усиливается общественное внимание к вопросам охраны окружающей среды. В этих условиях аквакультура должна не только обеспечивать рост объёмов производства и улучшение качества продукции, но и стремиться к минимизации выбросов азота и фосфора в сточных водах от рыбоводных хозяйств.

Однако в существующих технологических условиях интенсивное развитие аквакультуры позволяет достичь увеличения производства, но не может одновременно обеспечить сокращение выбросов и снижение энергопотребления. Иначе говоря, отрасль сталкивается с так называемой «тройной дилеммой» (см. рис. 1), при которой невозможно одновременно достичь трёх целей: роста производства, сокращения загрязняющих выбросов и повышения энергоэффективности.

Так, рециркуляционные аквакультурные системы (RAS) позволяют сократить выбросы и увеличить объём продукции, но в существующей структуре энергообеспечения это приводит к росту выбросов CO<sub>2</sub>. В свою очередь, модель с прямым сбросом воды позволяет наращивать производство и снижать энергозатраты, но сопровождается усилением загрязнения сточных вод соединениями азота и фосфора.

Если модель развития глубоководной морской аквакультуры будет выстроена грамотно, а размещение хозяйств – соответствовать допустимой нагрузке на окружающую среду, то данный сектор будет не только обладать значительным потенциалом для расширения, но и позволит экономить пресную воду и земельные ресурсы. Кроме того, открытые морские акватории обладают высокой способностью к физическому самоочищению, а также богаты возобновляемыми источниками энергии, такими как волновая, ветровая и солнечная [Dong et al., 2024].

На этом фоне глубоководное морское рыбоводство, благодаря своим уникальным производственным преимуществам, рассматривается как перспективный путь к преодолению «тройной дилеммы» в аквакультуре.



**Рис. 1.** «Тройная дилемма» развития рыбоводства в Китае. 1 – глобальное изменение климата; 2 – эвтрофикация водоемов; 3 – улучшение качества жизни; 4 – выброс CO<sub>2</sub>; 5 – выброс N, P; 6 – рост объемов производства.

**Fig. 1.** The «Triple dilemma» of fish farming development in China. 1 – global climate change; 2 – eutrophication of water bodies; 3 – improvement of the quality of life; 4 – CO<sub>2</sub> emission; 5 – N, P emission; 6 – production volume growth.

## II. НАУЧНАЯ ЛОГИКА РАЗВИТИЯ ГЛУБОКОВОДНОЙ МОРСКОЙ АКВАКУЛЬТУРЫ В КИТАЕ: ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И ОСНОВНЫЕ ПРОТИВОРЕЧИЯ

### 2.1. Состояние развития глубоководной аквакультуры в Китае и за рубежом

В 1971 году Соединённые Штаты первыми заложили основы глубоководного морского рыбоводства, переоборудовав грузовое судно *Brown Bear* в плавучую ферму [Nash, 2011]. Позднее Швеция, бывший Советский Союз и США поочередно разработали фермы с ферменными каркасными морскими садками, предназначенные для разведения рыбы в условиях больших волн [Lovatelli et al., 2010]. За последние 50 лет, несмотря на активное продвижение концепции глубоководного морского рыбоводства со стороны Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО), фактический уровень развития этой отрасли в мире в целом оказался ниже ожиданий. Исключение составляют лишь Китай и Норвегия, где наблюдается значительный прогресс в данном направлении. Причины отставания других стран кроются в высокой капиталоемкости проектов, недостаточной конкурентоспособности продукции на рынке, потенциальных экологических рисках, а также в отсутствии четкой правовой базы [Klinger, Naylor, 2012; Dong et al., 2023].

В Норвегии рыбоводство в основном осуществляется в фьордах с использованием гравитационных садков для выращивания атлантического лосо-

ся. В настоящее время ёмкость фьордов практически исчерпана, а проблема морских вшей становится все серьезней: расходы на профилактику и лечение заболеваний составляют уже от 10 до 15% от общей себестоимости производства [Barrett et al., 2020]. В целях обеспечения устойчивого развития правительство Норвегии приступило к стимулированию переноса производства атлантического лосося из фьордов в оффшорные морские глубоководные районы. Основные меры включают: введение дополнительного 25-процентного налога на использование морского пространства в пределах фьордов, а также предоставление стимулирующих квот на выращивание рыбы в открытом море за пределами фьордов. Эта стратегия «наказания и поощрения», в сочетании с тем, что затраты на профилактику заболеваний в открытых морских районах значительно ниже, способствовала ускоренному развитию глубоководной аквакультуры в Норвегии [Chu et al., 2020].

Китай начал развивать глубоководную морскую аквакультуру сравнительно поздно, однако благодаря государственной поддержке на всех уровнях и активному участию производителей специализированного оборудования этот сектор демонстрирует стремительный рост. На данный момент в Китае уже построено около 50 комплексов оборудования для глубоководного рыбоводства.

В зависимости от конфигурации и способа размещения в водной среде, такое оборудование подразделяется на шесть основных типов (см. табл. 1). Китай обладает наибольшим разнообразием технических

Таблица 1. Оборудование  
Table 1. Equipment

Тип оборудования	Примеры и объём (м <sup>3</sup> )	Капитальные затраты на единицу водного объёма (юаней/м <sup>3</sup> )*	
Клетки в глубоководных районах	Ланьцзуань № 1, 160 000 м <sup>3</sup>	163	
Стационарные садки	Цзиньхай № 1, 70 000 м <sup>3</sup>	1071	
Плавучие садки	Плавучие	Дэхай № 1, 30 000 м <sup>3</sup>	700
	Вращающиеся или вертикально регулируемые	Цяньдун № 1, 20 000 м <sup>3</sup>	900
	Автономные секционные	Кэньхуан № 1, 60 000 м <sup>3</sup>	–
Погружные садки	Простого типа	(напр., американский «садок-бабочка»)	–
	Комбинированного типа	Шэньлань № 1, 50 000 м <sup>3</sup>	1292
Полупогружные садки	Для разведения рыбы	Чжэньюй № 1, 13 000 м <sup>3</sup>	1166
	Для разведения морских ушей	Фубао № 1, 15 000 м <sup>3</sup>	2333
Закрытые морские рыбаводные системы	Мобильная ферма	Госинь № 1, 90 000 м <sup>3</sup>	5222
	Стационарная закрытая система	Neptun (Норвегия)	–

Примечание: \* – расчёты выполнены на основе информации, опубликованной в СМИ.

решений в данной области, что сыграло ключевую роль в расширении технологической базы и оптимизации моделей глубоководной аквакультуры.

Тем не менее, за исключением погружных садков в удалённых морских районах, инвестиционная нагрузка по большинству разработанных в Китае типов оборудования – включая ферменные садки и плавучие рыбоводные платформы – остаётся чрезвычайно высокой (табл. 1). Этот фактор напрямую влияет на выбор моделей хозяйствования и структуру производственных решений со стороны аквакультурных предприятий.

## 2.2. Основные противоречия, с которыми сталкивается развитие глубоководной морской аквакультуры в Китае

Несмотря на стремительное развитие глубоководного морского рыбоводства в Китае, в данной сфере сохраняется ряд острых и неотложных проблем, требующих системного решения. Некоторые специа-

листы подчёркивают необходимость изучения таких ключевых аспектов, как пространственное планирование размещения рыбоводных объектов, инвестиционные и эксплуатационные модели, выбор выращиваемых видов, разработка критически важных технологий и оборудования, стандартизация и интеллектуализация инфраструктуры, а также построение полноценной производственной цепочки [Чжан и др., 2023; Ли и др., 2023; Сюй и др., 2023; Ли, 2023; Лю и др., 2024; Юй, Пэн, 2024; Жэнь и др., 2024].

Однако с точки зрения более широкой, макроэкономической и стратегической перспективы, если рассматривать развитие глубоководной аквакультуры как элемент формирования устойчивой морской продовольственной базы (так называемого «голубого зернохранилища»), в первую очередь, следует сосредоточиться на преодолении трёх фундаментальных противоречий (рис. 2), которые определяют устойчивость и эффективность моделей хозяйствования.

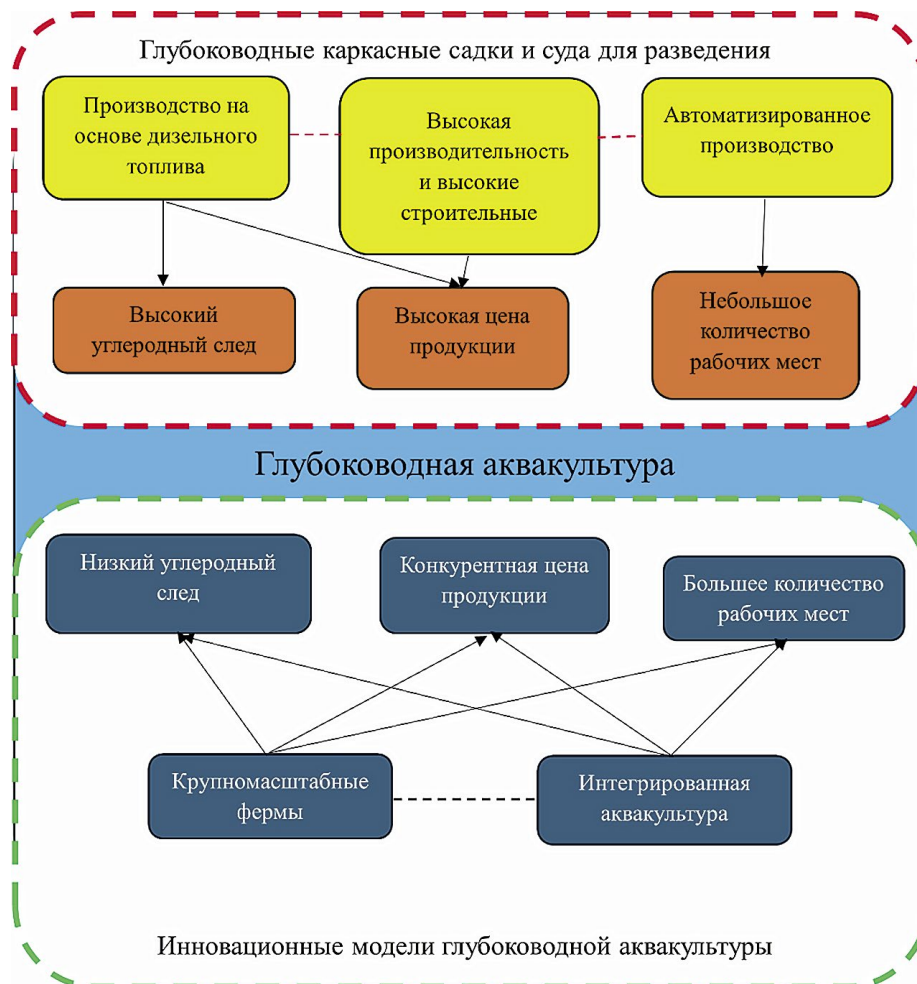


Рис. 2. Основные противоречия, с которыми сталкивается развитие глубоководной морской аквакультуры в Китае  
Fig. 2. The main contradictions faced by the development of deep-sea marine aquaculture in China

## 2.1. Прибыльность предприятий и соотношение цена/качество продукции

Первоначальная цель развития глубоководной морской аквакультуры заключалась в преодолении ограничений, связанных с нехваткой пахотных земель и пресной воды, решении «тройной дилеммы» в аквакультуре и формировании устойчивых «голубого зернохранилища» и «морских пастбищ». Речь идёт о производстве в открытых морских акваториях – с высокой способностью к самоочищению и наличием богатых источников возобновляемой энергии – экологически чистых, доступных по цене, качественных и достаточных по объёму морепродуктов.

Ключевая задача заключается в производстве недорогой и массовой морской аквакультурной продукции, способной частично заменить пресноводную рыбу и тем самым снизить нагрузку на пресноводный сектор, способствуя трансформации и модернизации всей отрасли. Однако на практике, когда речь идёт о разведении отдельных видов, в начальной фазе их выращивания рыночная цена, как правило, достаточно высока, но по мере роста производства и насыщения спроса цена постепенно снижается. На раннем этапе развития глубоководной аквакультуры в Китае предприятия, как правило, ориентируются на выращивание дорогих видов рыб. Поскольку водные биоресурсы не являются товарами первой необходимости, после достижения определённого предельного объёма производства цена на продукцию может резко упасть. Фактически основные виды морской рыбы, выращиваемые в Китае, уже проходили через подобные ценовые колебания.

Когда рыночная цена опускается до уровня, близкого к переменным затратам на выращивание, или становится даже ниже, предприятия, несмотря на возможные государственные субсидии на строительство оборудования (т. е. на покрытие части постоянных издержек), начинают отказываться от производства этих видов. Более того, учитывая значительную удалённость глубоководных ферм от берега, суровые погодные условия и высокую капиталоемкость, предприятия вынуждены либо выращивать продукцию с высокой рыночной стоимостью, либо резко снижать себестоимость, чтобы обеспечить рентабельность.

В результате компании стремятся сознательно ограничивать объёмы производства, чтобы избежать обвала цен. Однако если предельный объём, при котором сохраняется баланс, окажется слишком низким, это будет противоречить изначальным задачам развития глубоководной аквакультуры, направлен-

ным на обеспечение продовольственной безопасности.

С учётом вышеизложенного, в настоящей статье предлагается: для разрешения противоречия между прибыльностью предприятий и рыночным соотношением цена/качество продукции следует выстраивать такие модели глубоководного рыбководства, которые обеспечивают низкую себестоимость при высокой комплексной эффективности. Государственные меры стимулирования, направленные на снижение издержек производства, могут способствовать увеличению предельных объёмов выращивания и являются более предпочтительной стратегией.

## 2.2. Продукция с высоким углеродным следом и ожидания в отношении экологичности

Использование богатых природных ресурсов открытого моря – таких как энергия волн, ветра и солнца – позволяет сократить зависимость от ископаемого топлива и способствует решению «тройной дилеммы» в аквакультуре. Однако на практике, за исключением отдельных платформ, таких как *Лэнху № 1* [Ляо, 2019] и *Гэшэн № 1*, подавляющее большинство китайских установок для глубоководного морского рыбководства полагаются на дизельные генераторы для обеспечения производственных процессов. Это приводит к тому, что углеродный след продукции, получаемой в результате такого способа выращивания, оказывается выше по сравнению с другими моделями аквакультуры – особенно в случае плавучих рыбководных судов [Bilen et al., 2013].

В настоящее время сотрудничество между морскими ветроэнергетическими станциями и отдельными объектами глубоководного рыбководства в Китае в основном ограничивается совместным использованием акваторий и не оказывает значительного влияния на снижение углеродного следа продукции [Dong et al., 2023; Ли и др., 2023].

С учётом изложенного, для реализации национальной стратегии «углеродный пик и углеродная нейтральность» становится крайне актуальной задача разработки новых отраслевых моделей, в которых будет обеспечено реальное и технологически обоснованное объединение морской ветроэнергетики и глубоководного рыбководства. Например, одним из возможных решений может стать использование электроэнергии, вырабатываемой морскими ветряными электростанциями, для непосредственного питания систем жизнеобеспечения и производственной деятельности на глубоководных фермах (см. рис. 2).

### 2.3. Автоматизация производства и трудоустройство высвободившихся прибрежных и прудовых рыбоводов

Перенос части морской аквакультуры из прудов и прибрежных районов в оффшорные и глубоководные акватории стал объективной и устойчивой тенденцией. Поскольку современные модели глубоководного рыбоводства в подавляющем большинстве основаны на механизации и автоматизации производственных процессов, это открывает техническую возможность для их переноса в удалённые морские зоны. Однако такое смещение неизбежно порождает проблему повторного трудоустройства значительного числа рыбоводов, ранее занятых в прудовой и прибрежной аквакультуре.

По данным статистики, в Китае насчитывается около 830 000 специалистов, занятых в морской прудовой и прибрежной аквакультуре [Статистический ежегодник ..., 2023]. В условиях масштабного развёртывания глубоководного морского рыбоводства и структурных изменений в отрасли остро встаёт вопрос комплексного решения трёх проблем, возникших в рыбоводстве – то есть трудоустройство высвобождаемых работников, переход на альтернативные виды деятельности и адаптация отрасли к новым реалиям.

В этой связи крайне необходимо выстраивать такие модели глубоководной аквакультуры, которые бы обеспечивали интеграцию с другими отраслями и были способны создавать достаточное количество рабочих мест (см. рис. 2). Только таким образом можно сбалансировать цели индустриализации, социальной стабильности и устойчивого развития отрасли.

## III. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЛОГИКА РАЗВИТИЯ ГЛУБОКОВОДНОЙ МОРСКОЙ АКВАКУЛЬТУРЫ В КИТАЕ: ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ СТРАТЕГИИ И ИННОВАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ

Для эффективного преодоления основных противоречий, с которыми сталкивается развитие глубоководного рыбоводства, необходимо применять стратегии, ориентированные на рыночный спрос, а также разрабатывать инновационные модели с низкими затратами на выращивание и высокой совокупной эффективностью.

### 3.1. Производственные стратегии, ориентированные на рыночный спрос

В условиях сосуществования различных форм морской аквакультуры – таких как морские пруды, наземные рециркуляционные системы, прибрежные

садки и глубоководные установки – важным направлением повышения экономической эффективности глубоководного рыбоводства становится выращивание таких видов, которые трудно или невозможно эффективно разводить в морских прудах и прибрежных садках.

Другим значимым фактором является повышение качества продукции и организация её вывода на рынок в периоды, когда предложение со стороны других форм аквакультуры ограничено. Эти подходы позволяют сформировать ценовое преимущество и укрепить позиции продукции глубоководной аквакультуры на рынке.

#### 3.1.1. Предоставление рынку новых выращиваемых видов

Семейство лососевых традиционно пользуется высоким спросом у потребителей в сегменте морской аквакультуры. Однако из-за слишком высокой температуры поверхностных вод в китайских морях летом разведение этих видов в традиционных садках невозможно в круглогодичном формате. Решение предложено в виде *Шэньлань № 1* – погружаемой ферменной садковой конструкции, способной в летний период опускаться в придонный холодный слой воды в районе холодного фронта Жёлтого моря. Это делает возможным промышленное круглогодичное выращивание лососевых в китайских морских акваториях [Дун, 2019 b] и позволяет выводить на рынок качественную морскую продукцию, отличающуюся от продукции пресноводного происхождения.

#### 3.1.2. Предоставление рынку продукции более высокого качества

Одним из успешных примеров повышения рентабельности за счёт улучшения качества продукции является выращивание большого жёлтого горбыля в клетках в открытом море. Рыба, выращенная в удалённых морских акваториях, значительно превосходит по качеству ту, что разводится в прибрежных сетчатых садках [Цзоу др., 2021], благодаря чему продукция первой категории может реализовываться по более высокой цене, обеспечивая дополнительную прибыль.

Аналогичным образом, морское выращивание японского сибаса (*Lateolabrax japonicus* (Cuvier, 1828)) позволяет получать продукцию лучшего качества по сравнению с выращиванием в пресной или солоноватой воде [Цао и др., 2014]. При условии грамотного построения маркетинговой стратегии глубоководное разведение таких эвригалинных видов, как японский сибас или восточноазиатский четырёхпалый спинорог

(*Eleutheronema rhadinum* (Jordan & Evermann, 1902)), может существенно повысить рентабельность деятельности аквакультурных предприятий.

### 3.1.3. Вывод продукции на рынок вне пикового сезона

Разведение европейского трахинота (*Trachinotus ovatus* (L., 1758)) в глубоководных садках в южных морских акваториях Китая зарекомендовало себя как весьма успешная практика. Однако в основных регионах его промышленного выращивания – провинциях Гуандун, Гуанси, Фуцзянь, а также в северной части острова Хайнань – в зимний период нередко происходят вторжения холодных воздушных масс, что делает зимовку рыбы сопряжённой с высоким риском. В результате предприятия стремятся реализовать основную часть продукции до наступления холодов, что приводит к массовому поступлению рыбы на рынок в ограниченное время, снижению цен и ослаблению рентабельности.

В то же время южные воды Хайнаня, в частности район Санья, не подвержены зимним холодам. В этой связи предлагается стратегия сезонно смещённого разведения европейского трахинота с последующим выводом продукции на рынок в неурочное время. Это позволит не только повысить прибыльность хозяйств, но и поспособствует дальнейшему расширению масштабов выращивания этого вида.

### 3.1.4. Интеграция с индустрией полуфабрикатов

Многие крупные и средние виды аквакультурных рыб в Китае демонстрируют резкое ускорение прироста на втором году жизни [Dong et al., 2023]. Однако традиционная культура потребления рыбы целиком зачастую не позволяет в полной мере реализовать потенциал роста таких видов. На этом фоне стремительный рост индустрии полуфабрикатов [Ван и др., 2023] требует пересмотра привычных представлений о товарной массе и моделях выращивания некоторых видов рыб.

Интеграция масштабных глубоководных рыбодных хозяйств с индустрией полуфабрикатов открывает новые возможности для разведения рыбы более крупного размера. Такая кооперация позволяет не только лучше реализовать биологический потенциал выращиваемых видов и повысить общую эффективность производства, но также помогает решить проблему дефицита сырья для производства полуфабрикатов и централизованной утилизации отходов от переработки рыбы.

## 3.2. Модели выращивания, ориентированные на совокупную эффективность

Разработка моделей глубоководной морской аквакультуры с низкими производственными затратами и высокой общей эффективностью является ключевым условием для повышения предельных масштабов производства, разрешения противоречия между рентабельностью предприятий и рыночной доступностью продукции, а также достижения стратегической цели по формированию устойчивой морской продовольственной базы.

### 3.2.1. Сверхкрупная интегрированная модель многоотраслевого морского фермерства

В 2022 году академик Линь Мин [2022] из Китайской коммуникационной строительной компании (ККСК) выдвинул стратегическую концепцию создания сверхкрупных морских защитных инженерных сооружений с функцией аквакультуры. Специалисты Океанологического университета Китая предложили реализовать на таких объектах модель интегрированного поликультурного выращивания с разными уровнями питания в сочетании с трёхсекторной интеграцией – т. е. сельское хозяйство, переработка и сервис [Dong et al., 2023].

На основе технологий защиты от тайфунов, применённых при строительстве моста Гонконг–Чжухай–Макао, предлагается возвести крупномасштабные морские инженерные сооружения, способные выдерживать экстремальные погодные условия. Это позволит создать своего рода «защищённый залив» в открытом море, вдали от берега, и организовать в его пределах стабильную и безопасную аквакультурную среду.

Внутри таких объектов или в их непосредственной близости предлагается осуществлять поликультурное выращивание рыб с различными пищевыми уровнями, что позволяет одновременно повысить экономическую отдачу и увеличить коэффициент использования кормов. Такая модель предусматривает межотраслевую интеграцию аквакультуры, переработки водных биоресурсов, морской ветроэнергетики и туризма, что не только создаёт рабочие места для прибрежных рыбаков, но и многократно усиливает экономический эффект.

Благодаря использованию энергии ветра и солнечной энергии для нужд рыбоводства, переработки и рыболовства, данная модель также соответствует требованиям по снижению углеродного следа. Себестоимость единицы водоёма в таких сооружениях сопоставима со стоимостью традиционных клеточных

конструкций в удалённом море (см. табл. 1), а за счёт масштабного производства и многоотраслевой интеграции удастся эффективно разрешить противоречие между прибыльностью предприятий и рыночной доступностью продукции.

На сегодняшний день Бюро морского развития города Чжухай координирует работу ККСК, Института инноваций Большого залива и специалистов Океанологического университета Китая по разработке проекта «Глубоководного морского пастбища Чжухай – Deer Blue», включающего защитное инженерное сооружение диаметром 2000 метров.

Город Чжухай известен как «китайская столица японского сибаса», ежегодный объём выращивания которого здесь составляет около 160 000 тонн, что соответствует примерно 50% от общенационального объёма. Однако основной объём выращивается в наземных пресноводных прудах, что порождает проблемы как с качеством продукции, так и с соответствием сточных вод нормативам. Перенос завершающей стадии выращивания на море с использованием крупномасштабных морских защитных сооружений позволяет снизить нагрузку на пресноводные ресурсы и земельный фонд.

Ожидается, что при сохранении общего объёма производства качество продукции при новой морской модели значительно превзойдёт показатели традиционного наземного выращивания [Цзоу и др., 2021]. Модель также предусматривает чередование выращиваемых видов и их совмещение, а за пределами сооружения – комплексную аквакультуру, что одновременно увеличивает экономическую эффективность и сокращает экологическую нагрузку за счёт более полного использования кормов.

Благодаря глубокой интеграции аквакультуры с ветрогенерацией, переработкой и туристической индустрией достигается реальное снижение углеродных выбросов при одновременном росте доходов. Таким образом, проект «Глубоководное морское пастбище Чжухай – Deer Blue» представляет собой пример реализации тройной выгоды – экономической, экологической и социальной – и может рассматриваться как новая модель в строительстве «голубого зернохранилища» в Китае.

### **3.2.2. Модель «лососевого пастбища» с искусственным апвеллингом**

По сравнению с Норвегией, условия для выращивания лососевых в районе холодного подводного слоя Жёлтого моря обладают рядом конкурентных преимуществ: более низкие логистические издержки, сокращённый цикл выращивания, дешёвая рабочая

сила, хорошее качество воды и относительно слабое распространение лососевых вшей (*Caligus salmonis* Krøyer, 1837) [Цао и др., 2014; Dong et al., 2023]. При условии промышленного масштабирования и круглогодичного выхода продукции на рынок выращивание лососевых в этих акваториях может быть рентабельным для предприятий. Однако в настоящее время разведение лососевых в удалённых морских районах с высокими волновыми нагрузками (на расстоянии свыше 120 морских миль от берега) всё ещё сопряжено с высокими затратами.

Для существенного снижения издержек исследователи из Океанологического университета Китая разработали инновационную модель «лососевого пастбища с искусственным подъёмом холодных вод» [Дун, Ли, 2023]. Суть модели заключается в том, чтобы в летний период, при помощи инженерных конструкций, поднимать холодную придонную воду из близлежащих к берегу участков на поверхность, создавая благоприятные температурные условия для выращивания лососевых в тёплый сезон. Это позволяет использовать стандартные глубоководные садки для круглогодичного разведения лососевых в открытом море.

Если в будущем данная модель получит широкое распространение в прибрежных водах провинций Ляонин и Шаньдун, она может кардинально снизить себестоимость производства лососевых в Китае, при этом значительно повысив качество продукции и общую экономическую эффективность.

### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### **Соблюдение этических норм**

Все применимые этические нормы соблюдены.

### **Финансирование**

Работа выполнена в порядке личной инициативы.

### **ЛИТЕРАТУРА**

- Ван И., Линь Ц., Сюй Ч. 2023. Текущее состояние и меры развития индустрии готовой рыбной продукции // Современное рыбное хозяйство. Т. 5:77-81. (Кит.: 王艺红, 林嘉铭, 许智海. 水产预制菜产业现状及发展措施[J]. 当代水产, 2023(5):77-81.).
- Дун Ш. 2019а. Развитие аквакультуры нового времени с многомерной точки зрения // Журнал рыбного хозяйства. Т. 43(1):105-115. (Кит.: 董双林. 多维视角下的新时代水产养殖业发展[J]. 水产学报, 2019, 43(1):105-115.).
- Дун Ш. 2019б. Исследования и перспективы выращивания крупных лососевых видов в холодном водном слое Жёл-

- того моря // Журнал Океанологического университета Китая. Т. 49(3):1-6. (Кит.: 董双林. 黄海冷水团大型鲑科鱼类养殖研究进展与展望[J]. 中国海洋大学学报, 2019, 49(3):1-6.).
- Дун Ш., Дун Ю., Хуан Л., Тянь С., Хань Л., Ли Д., Хай Ц. 2023. Аквакультура Китая, выходящая в дальней офшор: возможности, вызовы и стратегии развития // Журнал рыбного хозяйства. Т. 47(3):039601. (Кит.: 董双林, 董云伟, 黄六一等. 迈向远海的中国水产养殖: 机遇、挑战和发展策略[J]. 水产学报, 2023, 47(3):039601.).
- Дун Ш., Ли Г. 2023. Устройство, способ и применение для создания морской фермы по разведению лососевых // Китай: CN116831070A. (Кит.: 董双林, 李广雪. 一种鲑鱼养殖海洋牧场营建装置、方法及应用[P]. 中国: CN116831070A, 2023.).
- Жэнь Ц., Хэ Ц., Цзун Ч. 2024. Текущее состояние, анализ слабых сторон и пути высококачественного развития глубокой офшорной аквакультуры Китая // Развитие и управление морем. № 5:18-29. (Кит.: 任泽众, 何静, 宗传宏. 我国深远海养殖产业发展现状、弱质性分析及高质量发展路径[J]. 海洋开发与管理, 2024(5):18-29.).
- Ли Д., Хань Л. 2019. Исследование по формированию новой системы обеспечения продовольственной безопасности на основе комплексного подхода «суша-море» // Журнал социальных наук. № 6:109-117. (Кит.: 李大海, 韩立民. 陆海统筹构建粮食安全保障新体系研究[J]. 社会科学辑刊, 2019(6):109-117.).
- Ли Д., Сунь В., Юй Х., Хань Л., Чжан И. 2023. Текущее состояние, особенности и рекомендации по развитию глубокой офшорной аквакультуры в Китае // Экономика рыбного хозяйства Китая. Т. 21(5):39-49. (Кит.: 李大海, 孙文慧, 于会娟等. 我国深远海养殖业的现状特点和发展建议[J]. 中国渔业经济, 2023, 21(5):39-49.).
- Ли М. 2023. Развитие и вызовы модернизации оборудования для глубокой офшорной аквакультуры // Наука и финансы. № 9:3-12. (Кит.: 李明敏. 深远海现代化养殖装备的发展与挑战[J]. 科技与金融, 2023(9):3-12.).
- Лю Х., Хуан В., Цуй Ц. 2024. Ситуация и меры по развитию отрасли глубокой офшорной аквакультуры Китая // Судостроение. № 5:6-15. (Кит.: 刘晃, 黄文超, 崔璨. 中国深远海养殖产业发展形势与对策[J]. 船舶工程, 2024(5):6-15.).
- Ли Я., Янь Ч., Лю Я., Чжан Ж., Хао Э. 2023. Текущее состояние и перспективы интеграции офшорной ветроэнергетики и морской аквакультуры // Судостроение. Т. 45(доп. выпуск):166-170. (Кит.: 李亚杰, 闫中杰, 刘扬等. 海上风电与海洋养殖融合发展现状与展望[J]. 船舶工程, 2023, 45(增刊):166-170.).
- Ляо Ц. 2019. Платформа сетевых садков «Пэнху» в Чжухае: вывод аквакультуры в глубоководные офшорные воды // Море и рыбное хозяйство. № 11:62-63. (Кит.: 廖静. 珠海“澎湖号”网箱平台: 让养殖走向深远海[J]. 海洋与渔业, 2019(11):62-63.).
- Линь М. 2022. Развитие крупномасштабной глубокой офшорной аквакультуры – проблемы, модели и пути реализации // Управленческий мир. № 12:39-58. (Кит.: 林鸣. 发展大规模深远海养殖—问题、模式与实现路径[J]. 管理世界, 2022(12):39-58.).
- Статистический ежегодник рыбного хозяйства Китая. 2023. Бюро рыболовства и рыболовного надзора Министерства сельского хозяйства и сельских дел КНР, Национальная станция по продвижению технологий в рыбном хозяйстве, Китайское общество рыбного хозяйства. Пекин: Китайское сельскохозяйственное издательство. 180 с. (Кит.: 农业农村部渔业渔政局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 中国渔业统计年鉴[R]. 北京: 中国农业出版社, 2023.).
- Сюй Х., Лю Х., Хуан В. 2023. Прогресс и перспективы технологий оборудования для глубокой офшорной аквакультуры // Журнал Шанхайского океанологического университета. Т. 32(5):893-902. (Кит.: 徐皓, 刘晃, 黄文超. 深远海设施养殖装备技术进展与展望[J]. 上海海洋大学学报, 2023, 32(5):893-902.).
- Сюй Х., Чжан Ч., Чжан Ц., Лю Х., Чжао П., Ши Ж., Ван Ц., Хэ Я. 2011. Исследования и рекомендации по энергосбережению и сокращению выбросов в рыбном хозяйстве Китая // Журнал рыбного хозяйства. Т. 35(3):472-480. (Кит.: 徐皓, 张祝利, 张建华等. 我国渔业节能减排研究与发展建议[J]. 水产学报, 2011, 35(3):472-480.).
- У П., Фэн Х., Ню В., Чжао С. 2006. Стратегические соображения и приоритетные направления исследований в области водосберегающего сельского хозяйства Китая // Научно-технический вестник. Т. 24(5):86-88. (Кит.: 吴普特, 冯浩, 牛文全等. 中国节水农业战略思考与研发重点[J]. 科技导报, 2006, 24(5):86-88.).
- Цао Ч., Ду Т., Цао Ю., Хуан Х. 2014. Сравнительное исследование летучих компонентов мяса морского окуня в пресноводной и морской аквакультуре // Наука и технологии пищевой промышленности. Т. 35(19):289-296. (Кит.: 曹湛慧, 杜涛, 操玉涛等. 淡水和海水养殖花鲈鱼肉中挥发性成分的比较研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(19):289-296.).
- Цзоу Г., Сун В., Се Ч. 2021. Технология крупномасштабного ограждённого разведения большеголовой кефали в глубоководной офшорной зоне // Рыбное хозяйство Китая. № 6:57-60. (Кит.: 邹国华, 宋炜, 谢正丽. 大黄鱼深远海大型围栏养殖技术[J]. 中国水产, 2021(6):57-60.).
- Чжоу Т., Тянь Б. 2021. Стратегические соображения по запросам населения и продовольственной безопасности Китая в новых условиях // Обзор экономики Китая. № 7:36-40. (Кит.: 周天勇, 田博. 新形势下我国人口与粮食安全战略思考[J]. 中国经济评论, 2021(7):36-40.).
- Чжан Ц., Лю Ш., Лю Л., Чэн С., Вэй Ш., Чжу Д. 2023. Текущее состояние и тенденции развития оборудования для глубокой офшорной аквакультуры в Китае // Экономика рыбного хозяйства Китая. Т. 41(3):71-77. (Кит.: 张千, 刘世佳, 刘亮清等. 我国深远海养殖设施装备发展现状与趋势[J]. 中国渔业经济, 2023, 41(3):71-77.).
- Юй Ц., Пэн Ю. 2024. Механизмы функционирования и примеры высококачественного развития глубокой офшорной аквакультуры Китая // Журнал Океанологического университета Китая (серия общественных наук). № 4:19-29. (Кит.: 于谨凯, 彭雨涛. 我国深远海养殖高质量发展的运行机制及案例诠释研究[J]. 中国海洋大学学报(社会科学版), 2024(4):19-29.).
- Barrett L.T, Oppedal F., Robinson N., Dempster T. 2020. Prevention not cure: a review of methods to avoid sea

- lice infestations in salmon aquaculture // *Reviews in Aquaculture*, V. 12(4). P. 2527-2543. DOI: 10.1111/raq.12456
- Bilen S., Kizak V., Gezen A.M. 2013. Floating fish farm unit (3FU). Is it an appropriate method for salmonid production? // *Marine Science and Technology Bulletin*. V. 2. Is. 1. P. 9-13.
- Chu Y.I., Wang C.M., Park J.C., Lader P. 2020. Review of cage and containment tank designs for offshore fish farming // *Aquaculture*. V. 519:734928. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.734928
- Dong S.L., Dong Y.W., Cao L., Verreth J., Olsen Y., et al. 2022. Optimization of aquaculture sustainability through ecological intensification in China // *Reviews in Aquaculture*. V. 14. P. 1249-1259.
- Dong S.L., Tian X.L., Gao Q.F., Dong Y.W.(eds.). 2023. *Aquaculture Ecology*. Singapore/Beijing: Springer. Science Press. 581 p.
- Dong S.L., Dong Y.W., Huang L.Y., Zhou Y. 2024. Advancements and hurdles in China's deeper-offshore aquaculture // *Reviews in Aquaculture*. V. 16(2):644-655.
- Klinger D., Naylor R. 2012. Searching for solutions in aquaculture: Charting a sustainable course // *Annual Review of Environment and Resources*. V. 37(1). P. 247-276.
- Lovatelli A., Aguilar-Manjarrez J., Soto D. 2010. *FAO Fisheries and Aquaculture Proceedings No.24: Expanding mariculture farther offshore: Technical, environmental, spatial and governance challenges*. Orbetello, Italy: FAO. 85 p. DOI: 10.13140/RG.2.1.2989.1927.
- Nakajima T., Hudson M.J., Uchiyama J., Makibayashi K., Zhang J. 2017. Common carp aquaculture in Neolithic China dates back 8,000 years // *Nature Ecology & Evolution*. N. 3. P. 1415-1418. DOI: 10.1038/s41559-019-0974-3
- Nash C.E. 2011. *The History of Aquaculture*. Iowa: Wiley-Blackwell, 227 p.
- REFERENCES**
- Wang I., Lin C., Xu C. 2023. The current state and measures of development of the industry of finished fish products // *Modern fisheries*. V. 5:77-81. (In Chinese).
- Dong S. 2019 a. The development of aquaculture of modern times from a multidimensional point of view // *Journal of Fisheries*. V. 43(1). P. 105-115. (In Chinese).
- Dong S. 2019 b. Research and prospects of growing large salmon species in the cold water layer of the Yellow Sea // *Journal of the Oceanological University of China*. V. 49(3):1-6. (In Chinese).
- Dong S., Dong Yu., Huang L., Tian X., Han Li., Li D., Hai C. 2023. China's aquaculture going offshore: Opportunities, Challenges and Development Strategies // *Journal of Fisheries*. V. 47(3):039601. (In Chinese).
- Dong S., Lee G. 2023. Device, method and application for creating a marine farm for salmon breeding // *China: CN116831070A*. (In Chinese).
- Ren Ts., He Ts., Tsung Ch. 2024. Current status, analysis of weaknesses and ways of high-quality development of China's deep offshore aquaculture // *Development and Management of the sea*. V. (5):18-29. (In Chinese).
- Li D., Han L. 2019. A study on the formation of a new food security system based on an integrated land-sea approach // *Journal of Social Sciences*. V. 6:109-117. (In Chinese).
- Li D., Sun V., Yu H., Han L., Zhang Y. 2023. The current state, features and recommendations for the development of deep offshore aquaculture in China // *Economics of Fisheries in China*. V. 21(5):39-49. (In Chinese).
- Li M. 2023. Development and challenges of modernization of equipment for deep offshore aquaculture // *Science and Finance*. Vol. (9):3-12. (In Chinese).
- Liu H., Huang V., Cui C. 2024. The situation and measures for the development of the deep offshore aquaculture industry in China // *Shipbuilding*. V. (5):6-15. (In Chinese).
- Li Ya., Yan Ch., Liu Ya., Zhang R., Hao Er. 2023. The current state and prospects of integration of offshore wind energy and marine aquaculture // *Shipbuilding*. V. 45 (additional iss.):166-170. (In Chinese).
- Liao Ts. 2019. The Penghu network cage platform in Zhuhai: the introduction of aquaculture into deep-sea offshore waters // *Sea and Fisheries*. V. (11):62-63. (In Chinese).
- Lin M. 2022. Development of large - scale deep-sea offshore aquaculture - problems, models and ways of implementation // *Managerial World*. V. (12):39-58. (In Chinese).
- Statistical Yearbook of China's Fisheries*. 2023. Bureau of Fisheries and Fisheries Supervision of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, National Fisheries Technology Promotion Station, Chinese Fisheries Society. Beijing: Chinese Agricultural Publishing House. 180 p. (In Chinese).
- Xu H., Liu H., Huang V. 2023. Progress and prospects of equipment technologies for deep offshore aquaculture // *Journal of Shanghai Oceanological University*. V. 32(5):893-902. (In Chinese).
- Xu H., Zhang C., Zhang C., Liu H., Zhao P., Shi R., Wang J., He Ya. 2011. Research and recommendations on energy conservation and emission reduction in China's fisheries // *Journal of Fisheries*. V. 35(3):472-480. (In Chinese).
- Wu P., Feng H., Nu V., Zhao X. 2006. Strategic considerations and priority areas of research in the field of water-saving agriculture in China // *Scientific and Technical Bulletin*. V. 24(5). P. 86-88. (In Chinese).
- Cao Ch., Du T., Cao Yu., Huang H. 2014. Comparative study of volatile components of sea bass meat in freshwater and marine aquaculture // *Science and technology of the food industry*. V. 35(19):289-296. (In Chinese).
- Zou G., Song V., Xie H. 2021. Technology of large-scale fenced breeding of bighead mullet in a deep-sea offshore zone // *Fisheries of China*. V. (6):57-60. (In Chinese).
- Zhou T., Tian B. 2021. Strategic considerations on China's population and food security in new conditions // *Review of China's Economy*. No. 7. P. 36-40. (In Chinese).
- Zhang Ts., Liu Sh., Liu L., Cheng X., Wei Sh., Zhu D. 2023. The current state and development trends of equipment

- for deep offshore aquaculture in China // Economics of China's fisheries. V. 41(3):71-77. (In Chinese).
- Yu Ts., Peng Yu. 2024. Mechanisms of functioning and examples of high-quality development of deep offshore aquaculture in China // Journal of the Oceanological University of China (series of Social Sciences). V. (4):19-29. (In Chinese).
- Barrett L.T., Oppedal F., Robinson N., Dempster T. 2020. Prevention not cure: a review of methods to avoid sea lice infestations in salmon aquaculture // Reviews in Aquaculture, V. 12(4). P. 2527-2543. DOI: 10.1111/raq.12456
- Bilen S., Kizak V., Gezen A.M. 2013. Floating fish farm unit (3FU). Is it an appropriate method for salmonid production? // Marine Science and Technology Bulletin. V. 2. Is. 1. P. 9-13.
- Chu Y.I., Wang C.M., Park J.C., Lader P. 2020. Review of cage and containment tank designs for offshore fish farming // Aquaculture. V. 519:734928. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.734928
- Dong S.L., Dong Y.W., Cao L., Verreth J., Olsen Y., et al. 2022. Optimization of aquaculture sustainability through ecological intensification in China // Reviews in Aquaculture. V. 14. P. 1249-1259.
- Dong S.L., Tian X.L., Gao Q.F., Dong Y.W.(eds.). 2023. Aquaculture Ecology. Singapore/Beijing: Springer. Science Press. 581 p.
- Dong S.L., Dong Y.W., Huang L.Y., Zhou Y. 2024. Advancements and hurdles in China's deeper-offshore aquaculture // Reviews in Aquaculture. V. 16(2):644-655.
- Klinger D., Naylor R. 2012. Searching for solutions in aquaculture: Charting a sustainable course // Annual Review of Environment and Resources. V. 37(1). P. 247-276.
- Lovatelli A., Aguilar-Manjarrez J., Soto D. 2010. FAO Fisheries and Aquaculture Proceedings No.24: Expanding mariculture farther offshore: Technical, environmental, spatial and governance challenges. Orbetello, Italy: FAO. 85 p. DOI: 10.13140/RG.2.1.2989.1927.
- Nakajima T., Hudson M.J., Uchiyama J., Makibayashi K., Zhang J. 2017. Common carp aquaculture in Neolithic China dates back 8,000 years // Nature Ecology & Evolution. N. 3. P. 1415-1418. DOI: 10.1038/s41559-019-0974-3
- Nash C.E. 2011. The History of Aquaculture. Iowa: Wiley-Blackwell, 227 p.

Поступила в редакцию 21.05.2025 г.  
Принята после рецензий 12.08.2025 г.



УДК 639.3.05

## Аквакультура

# Анализ международной конкурентоспособности сегмента производства посадочного материала объектов аквакультуры в Китае

Ян Вэй, Чэнь Мэнсюэ

Шанхайский океанологический университет, Школа экономики и управления, ул. Лученхуань, дом 999, Шанхай 201306

Отрасль производства посадочного материала объектов аквакультуры является исходным звеном производственно-экономической цепочки аквакультуры и выполняет роль «ядра» в обеспечении экологически устойчивого развития отрасли, стимулировании её модернизации и перехода к инновационным моделям. В статье с позиций международной конкурентоспособности проводится расчёт индекса торговой конкурентоспособности и индекса выявленного сравнительного преимущества по чистому экспорту для оценки позиций Китая в данном направлении аквакультуры.

Результаты анализа показывают, что в сегменте производства посадочного материала рыб Китай постепенно теряет свои преимущества на международном рынке; в 2021 и 2022 годах соответствующие индексы были отрицательными. В период с 2017 по 2022 год посадочный материал ракообразных также демонстрировал отрицательные значения по обоим показателям, что свидетельствует о его низкой международной конкурентоспособности. В отличие от этого, посадочный материал моллюсков преимущественно ориентирован на экспорт: в 2011-2022 годах оба показателя сохранялись на положительном уровне, подтверждая наличие значительного конкурентного преимущества.

Что касается посадочного материала других водных беспозвоночных, то индекс торговой конкурентоспособности характеризуется значительными колебаниями по годам, тогда как индекс выявленного сравнительного преимущества остаётся относительно стабильным; в целом международная конкурентоспособность продукции этой категории близка к среднему уровню.

На основании вышеизложенного в статье делается вывод о необходимости дальнейшего повышения международной конкурентоспособности посадочного материала рыб, ракообразных и водных беспозвоночных. В качестве мер предлагается: укрепить ведущую роль предприятий в системе коммерческой селекции, повысить научно-исследовательские и технологические возможности отрасли, активно выводить новые породы, отвечающие рыночному спросу, а также совершенствовать систему публичной информационной поддержки отрасли.

**Ключевые слова:** отрасль производства посадочного материала объектов аквакультуры; возрождение селекционной индустрии; международная конкурентоспособность; выявленное сравнительное преимущество; генофонд водных организмов

## Analysis of international competitiveness of Chinese aquatic seeding industry

Yang Wei, Chen Mengxue

School of Economics and Management, Shanghai Ocean University, Luchenghuan rd 999, Shanghai 201306, China

The aquatic seeding industry, as the origin of the aquaculture production chain, plays a crucial role in leading the green development of aquaculture, promoting the transformation and upgrading of fisheries, and achieving modernization within the industry. This article calculates China's competitiveness in the aquatic seeding industry from an international perspective using trade competitiveness indices and net export comparative advantage indices. The results indicate that China's competitive advantage in fish seed is gradually diminishing, with negative values even appearing in 2021 and 2022. Similarly, both the trade competitiveness index and the net export comparative advantage index for crustacean seed were negative between 2017 and 2022, indicating relatively weak international competitiveness that requires strengthening. Conversely, mollusk seed primarily focuses on exports and has demonstrated strong foreign trade competitiveness with both indices consistently above zero from 2011 to 2022. The trade competitiveness index for aquatic invertebrate seeds shows significant annual fluctuations while the net export comparative advantage index remains relatively stable. Overall, aquatic invertebrate seeds exhibit a level of competitiveness above average. In conclusion, there is a need to further enhance China's trade competitiveness in fish seed, crustacean seed, and aquatic invertebrate seeds. To address this issue effectively, this paper proposes measures such as strengthening enterprises' position within commercial breeding systems, enhancing research and development capabilities for aquaculture breeding, cultivating high-quality varieties that meet market demand, and bolstering public information platform construction within the aquaculture seed industry.

**Keywords:** aquatic seedling industry; revitalization of seedling industry; international competitiveness; revealed comparative advantage; germplasm resource

## 我国水产种苗产业国际竞争力分析

中国渔业经济, 2024年第6期 第42卷,55-63页

杨卫, 陈梦雪

(上海海洋大学 经济管理学院, 上海 201306)

**摘要:** 水产种苗产业作为水产养殖产业链的源头, 是引领水产养殖业绿色发展、推进渔业转型升级、实现渔业现代化的硬核“芯片”。论文从国际竞争力的角度, 运用贸易竞争力指数和净出口显示性比较优势指数对我国水产种苗产业竞争力进行测算, 结果显示, 我国鱼类种苗在逐渐失去竞争优势, 2021和2022年甚至出现了负值; 2017-2022年, 甲壳类种苗无论是贸易竞争力指数还是净出口显示性比较优势指数均为负值, 其国际竞争力较为薄弱。软体动物种苗与之相反, 基本以出口为主, 2011-2022年两个指标均在0以上, 具有较强的对外贸易竞争优势。水生无脊椎动物种苗的贸易竞争力指数测算结果年变化幅度较大, 而净出口显示性比较优势指数比较平稳, 总体来看, 其国际竞争力接近平均水平。综上, 我国鱼类种苗、甲壳类种苗和水生无脊椎动物种苗的贸易竞争力有待进一步增强。由此, 本文提出要强化企业在商业化育种体系中的主体地位、进一步提升水产育种研发能力、培育适应市场需求的优良品种、加强水产种苗产业公共信息平台建设等对策建议。

**关键词:** 水产种苗产业; 种业振兴; 国际竞争力; 显示性比较优势; 种质资源

中图分类号: F326.416 文献标识码: A 文章编号: 1009-(2024)06-0055-09

### ВВЕДЕНИЕ

«Государство стоит на сельском хозяйстве, а сельское хозяйство начинается с семян» – семена имеют ключевое значение для обеспечения продовольственной безопасности страны и продвижения сельского хозяйства в сторону модернизации. Отрасль посадочного материала объектов аквакультуры является стратегическим и базовым ядром рыбной промышленности, а также наиболее активным и важным драйвером развития аквакультуры [Лю и др., 2023]. Ускорение развития отрасли производства посадочного материала объектов аквакультуры, преодоление «узких мест» в виде структурных и технологических барьеров, повышение самостоятельных инновационных возможностей и ключевой конкурентоспособности отрасли – это важнейшие задачи нового этапа развития, необходимые для перелома в отрасли посадочного материала объектов аквакультуры.

В последние годы этой сфере уделяется все больше внимания на государственном уровне: Министерство сельского хозяйства КНР реализует программу повышения качества продукции отрасли посадочного материала объектов аквакультуры, включает её в национальную программу инвентаризации генофонда сельскохозяйственного производства и предпринимает целый ряд политических мер в рамках программы «Возрождение индустрии воспроизводства объектов аквакультуры», направленных на всестороннее укрепление потенциала отрасли. Согласно данным Статистического ежегодника по рыбному хозяйству Китая, в 2011-2022 годах объем производства посадочного материала объектов аквакультуры в стране в целом демонстрировал устойчивый рост, занимая примерно 5% от общего объема рыбного хозяйства. В 2022 году

показатели отрасли достигли 84,345 млрд юаней, что более чем на 98% превышает показатели 2011 года и составляет 5,52% от общего объема рыбной промышленности за тот же год.

Изучение развития отрасли посадочного материала объектов аквакультуры имеет важное практическое значение, и немало исследователей уже обращались к этой теме. Так, Ли Чанцзян и др. [2023] проанализировали текущее состояние отрасли и отметили, что, несмотря на в целом устойчивое развитие и контролируемые риски, по ключевым видам сохраняются «узкие места» – слабая идентификация и практическое использование генофонда, а также риск исчезновения отдельных источников посадочного материала. Ху Хунлан с коллегами [2023], рассматривая вопросы селекционных технологий, указали на три основные проблемы: высокая ресурсная база генофондов при низкой эффективности генетического улучшения, большое количество научных результатов при низком уровне их коммерциализации, а также наличие множества предприятий при слабой ключевой конкурентоспособности. Лю Юнсин с соавторами [2021], анализируя отрасль с позиции всей производственно-экономической цепочки, отметили необходимость срочного усиления инновационного потенциала, присутствие в производственном секторе широко распространенного явления «хорошие сорта – плохое производство» и недостаточную развитость коммерческих селекционных систем.

Юэ Дундун и др. [2020] проанализировали характеристики импорта посадочного материала объектов аквакультуры в 2013-2018 годах и указали на значительное влияние импорта посадочного материала креветок, угрей, оплодотворенной икры рыб и других видов объектов на развитие всей отрасли аква-

культуры. Чжао Лэй с коллегами [2022] с помощью показателей зависимости от дефицита и зависимости от импорта проанализировали изменения в импорте посадочного материала объектов аквакультуры в 2013-2019 годах и выделили по этим показателям три ключевых вида аквакультуры Китая: белоногая креветка (*Penaeus vannamei* Boone, 1931), угорь (*Anguilla japonica* Temminck & Schlegel, 1846) и лососевые (Salmonidae).

Чжу Цзывэй с соавторами [2023] использовали коэффициент ресурсной обеспеченности, долю на международном рынке, индекс торговой конкурентоспособности и индекс выявленного сравнительного преимущества для анализа международной конкурентоспособности китайских видов пресноводных рыб.

Обзор литературы показывает, что в процессе интернационализации китайской отрасли посадочного материала объектов аквакультуры сохраняются серьёзные проблемы: недостаточная инновационность и слабое внедрение селекционных технологий, низкий уровень международного сотрудничества [Янь и др., 2018], отсутствие статуса ведущего инновационного субъекта у коммерческих предприятий, а также низкая рыночная концентрация. При этом специализированных исследований, посвящённых международной конкурентоспособности именно отрасли посадочного материала объектов аквакультуры, крайне мало.

В этой работе с опорой на практические данные с использованием индекса торговой конкурентоспособности и индекса выявленного сравнительного преимущества по чистому экспорту проводится анализ международной конкурентоспособности четырёх основных категорий китайского посадочного материала в 2011-2022 годах. Путём сравнительного анализа динамики конкурентных позиций выявляется международное положение Китая в этой отрасли, обобщаются ключевые проблемы и формулируются предложения по повышению международной конкурентоспособности, чтобы предоставить отрасли ценные аналитические и практические рекомендации.

## **I. ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ РАЗВИТИЯ ОТРАСЛИ ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА ОБЪЕКТОВ АКВАКУЛЬТУРЫ В КИТАЕ**

С начала XXI века китайская отрасль посадочного материала объектов аквакультуры прошла путь от индустриализации и рыночной ориентации к этапу модернизации [Цао, Сунь, 2021]. В документе ЦК № 1 за 2022 год была предложена всесторонняя реализация программы по возрождению индустрии воспроизводства объектов аквакультуры; в документе № 1 за

2023 год эта цель снова была подчёркнута, с акцентом на углублённое внедрение программы.

### **(1) Национальная стратегия развития отрасли посадочного материала объектов аквакультуры**

Планы развития отрасли идут в ногу с центральной политикой. В 12-м пятилетнем плане по развитию рыбной промышленности (2011-2015 гг.) впервые было предложено развивать «современную индустрию посадочного материала».

В 2021 году Государственный комитет по развитию и реформам и Министерство сельского хозяйства совместно выпустили План строительства проекта повышения уровня современной индустрии производства посадочного материала на 14-й пятилетке, в котором была всесторонне определена общая концепция, структурные рамки, ключевые проекты и меры обеспечения для инфраструктуры данной отрасли на 2021-2025 годы. Этот план, включая задачи по повышению потенциала отрасли производства посадочного материала объектов аквакультуры, призван ускорить возрождение индустрии, реализовать научно-техническую независимость в селекции и обеспечить автономный контроль над исходным биологическим материалом.

В 2023 году Министерство сельского хозяйства выпустило Уведомление о публикации первого списка национальных совместных программ по селекции объектов аквакультуры, где обозначены направления научно-технических прорывов, задачи по обеспечению их реализации и меры по укреплению организационного руководства.

Законодательная база и система управления отраслью также постепенно совершенствуются. Например, Положение об управлении ветеринарным контролем и другие нормативные акты составляют основу правовой системы управления отраслью, формируя административно-организационный механизм, систему охраны водных генофондов и механизм утверждения изначальных высших сортов [Доклад о развитии ..., 2020]. В 2019 году были введены Общие требования к описанию водных генофондов (SC/T9433-2019), которые определяют методы и технические требования описания ресурсов по таким параметрам, как основная информация, биологические характеристики и данные о сборе образцов, способствуя стандартизации управления генофондом.

Для продвижения отрасли постоянно реализуются конкретные меры. По данным Министерства сельского хозяйства, опубликованным в списке национальных демонстрационных хозяйств по современному про-

изводству посадочного материала, на данный момент в стране создано 87 таких демонстрационных хозяйств, расположенных в 19 провинциях и автономных районах, включая Аньхой, Ляонин, Гуандун, с основными культивируемыми видами более чем в 40 категориях.

По данным Министерства за 2021 год, в стране насчитывается 87 национальных хозяйств по разведению и производству исходного посадочного материала, распределённых по 25 провинциям и регионам. Кроме того, в целях усиления охраны генофонда водных животных Китай активно продвигает строительство охранных зон: на сегодняшний день Министерство сельского хозяйства опубликовало 11 групп, охватывающих в общей сложности 535 национальных охранных зон водных генофондов, расположенных в 29 провинциях и регионах.

С начала XXI века страна постоянно усиливает защиту и использование генофонда, укрепляет научно-технические прорывы в области воспроизводства объектов выращивания. По состоянию на 2023 год Министерство сельского хозяйства зарегистрировало 283 новых водных вида, что стало важной основой для эффективного возрождения отрасли производства посадочного материала объектов аквакультуры и обеспечения высокого качества развития аквакультуры.

## (2) Ситуация с подачей патентных заявок в области посадочного материала объектов аквакультуры

Усиление использования и защиты прав интеллектуальной собственности в отрасли производства посадочного материала объектов аквакультуры – важнейшее звено для её возрождения. Жэнь Пэн с коллегами [2021] выделили три ключевых значения патентов в этой сфере: во-первых, патенты на водные генетические ресурсы закрепляют их центральное положение в аквакультуре; во-вторых, они способствуют научно-техническим инновациям в аквакультуре и стимулируют трансформацию и модернизацию экономики отрасли; в-третьих, они эффективно ускоряют трансформацию передовых научно-технических достижений.

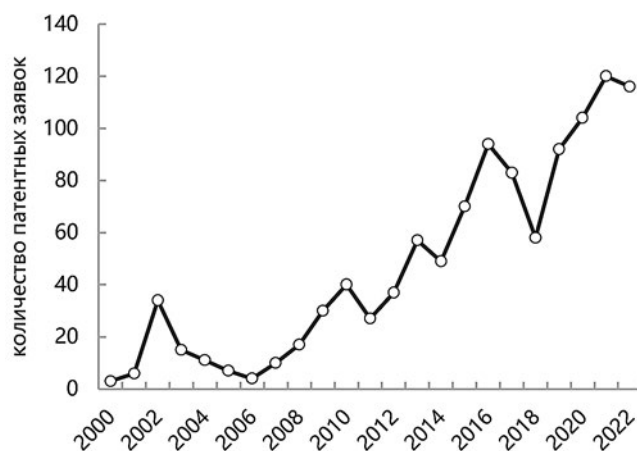
Автор с помощью системы поиска патентов Государственного управления по делам интеллектуальной собственности КНР сформировал поисковый запрос: «ключевые слова = (водные ресурсы AND (селекция OR посадочный материал OR производство оплодотворённой икры OR выведение новых пород OR новые виды))», одновременно просматривая названия, аннотации, правовые требования и классификационные

номера IPC. На июнь 2023 года (неполные данные) было найдено в общей сложности 1702 патентных публикации, связанных с отраслью производства посадочного материала объектов аквакультуры.

После ручной фильтрации (из-за значительного числа нерелевантных патентов) отобрано 1116 подходящих патентов; из них за период январь–июнь 2023 года выделены 4 патента.

В дальнейшем анализ патентной ситуации проводится именно на основе этих 1116 патентов.

Так как за 2023 год имеются данные только за первое полугодие, они не были включены в рис. 1.



**Рис. 1.** Ситуация с подачей патентных заявок в области производства посадочного материала объектов аквакультуры в 2000-2022 гг.

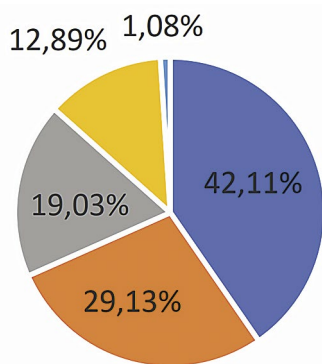
**Fig. 1.** The situation with the filing of patent applications in the field of planting materials for aquaculture facilities in 2000-2022.

Из этих 1116 патентов:

- изобретений – 746 (около 66,85%),
- полезных моделей – 364 (около 32,62%),
- остальные 6 – это промышленные образцы и другие типы.

С точки зрения динамики по годам, с 2000 года, несмотря на колебания, общий тренд – возрастающий (см. рис. 1).

Если смотреть по типам заявителей, то наибольшее количество заявок подают предприятия отрасли производства посадочного материала объектов аквакультуры – свыше 40%, причём это в основном частные компании, включая ряд ключевых национальных ведущих предприятий, а также совместные предприятия с иностранным, гонконгским, макауским или тайваньским капиталом, либо полностью иностранные компании. Научно-исследовательские учреждения и вузы занимают 29,13% и 19,03% соответственно; физические лица – лишь 12,89% (рис. 2).



- предприятия
- научно-исследовательские учреждения
- университеты
- физические лица
- группы организаций

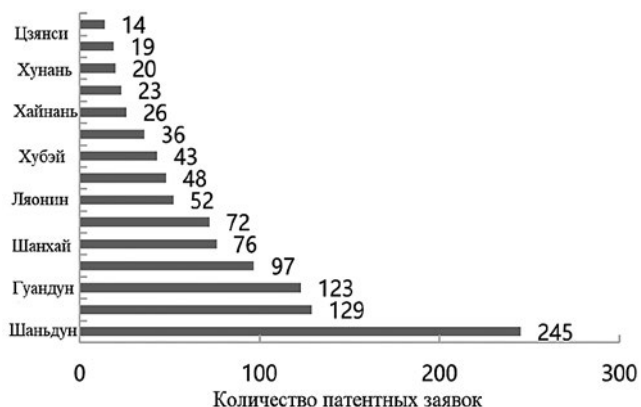
**Рис. 2.** Распределение патентных заявок в области производства посадочного материала объектов аквакультуры в Китае по заявителям

Источник: Государственное управление по делам интеллектуальной собственности

**Fig. 2.** Distribution of patent applications in the field of aquaculture planting materials in China by applicants  
Source: State Administration for Intellectual Property Affairs

Таким образом, очевидно, что почти половина патентов в этой области подаётся именно научными институтами и университетами.

Если смотреть по регионам, лидирует провинция Шаньдун – 245 патентов (22,09%);



**Рис. 3.** Распределение патентных заявок в области производства посадочного материала объектов аквакультуры в Китае по провинциям

Источник: Государственное управление по делам интеллектуальной собственности

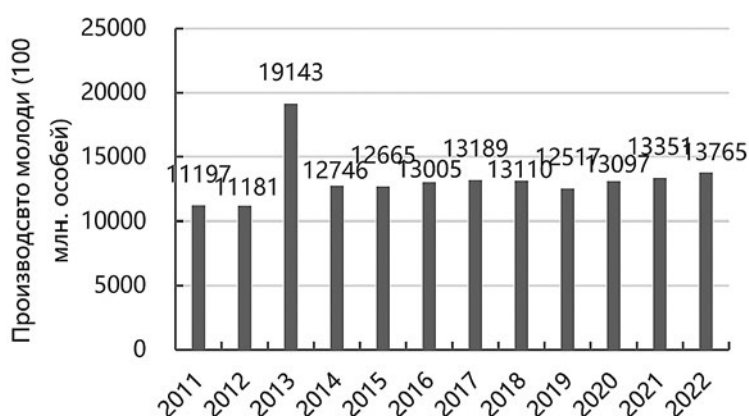
**Fig. 3.** Distribution of patent applications in the field of aquaculture planting materials in China by province

Source: State Administration for Intellectual Property Affairs

за ней следуют провинции Цзянси (129 патентов, 11,63%) и Гуандун (123 патента, 11,09%) – рис. 3. Это показывает, что эти три провинции уделяют более серьёзное внимание защите интеллектуальной собственности в сфере посадочной индустрии объектов аквакультуры.

### (3) Объёмы производства посадочного материала объектов аквакультуры

Согласно данным Статистического ежегодника по рыбному хозяйству Китая, в период 2011–2019 гг. объёмы производства молоди пресноводных рыб



**Рис. 4.** Производство молоди пресноводных рыб в Китае в 2011–2022 гг. (100 млн особей)

Источник: Статистический ежегодник по рыбному хозяйству Китая

**Fig. 4.** Production of juvenile freshwater fish in China in 2011–2022 (100 million individuals)  
Source: China Fisheries Statistical Yearbook

в стране в целом демонстрировали устойчивую тенденцию роста. Особенно заметный скачок произошёл в 2013 году, когда объем производства молоди пресноводных объектов достиг почти 2 трлн особей. В 2011 году объем составлял 1,12 трлн особей, а к 2022 году увеличился до 1,38 трлн особей, что означает прирост примерно 30% (рис. 4).

В случае с молодью объектов марикультуры: с 2011 по 2017 год наблюдалась чётко выраженная тенденция ежегодного роста, и в 2017 году объем производства молоди объектов марикультуры достиг пика – 12,929 млрд особей. Однако с 2018 года началось общее снижение объёмов производства молоди объектов марикультуры, и к 2021 году показатель снизился до 9,932 млрд особей.

В 2022 году производство снова вышло на высокий уровень – 13,183 млрд особей, увеличившись примерно на 32,72% по сравнению с 2021 годом и превысив показатель пикового 2017 года (рис. 5).

#### (4) Ситуация с импортом и экспортом посадочного материала объектов аквакультуры

Для содействия зелёному, здоровому и устойчивому развитию аквакультуры Китай импортировал значительное количество посадочного материала различных видов объектов аквакультуры. Хотя Китай не был среди первых стран мира, начавших импортировать посадочный материал объектов аквакультуры, он стал одной из стран с наибольшим числом импортируемых видов [Юэ и др., 2020].

В то же время Китай активно экспортирует посадочный материал объектов аквакультуры, причём важное место среди экспортируемых позиций зани-

мают рыбопосадочный материал и посадочный материал моллюсков.

В целом, за период с 2011 по 2022 год объем экспорта рыбопосадочного материала в Китае значительно превышал объем импорта. Экспортные объёмы в основном удерживались на уровне около 3000 тонн, но после 2020 года годовой экспорт снизился до примерно 2500 тонн. Импортные объёмы достигали максимальных значений только в 2018 и 2019 годах, когда немного превысили 100 тонн.

Что касается стоимости, экспорт рыбопосадочного материала в целом оставался относительно стабильным – на уровне около 40 млн долларов США, а в 2014 году он составил около 52,88 млн долларов, что примерно на 43% больше по сравнению с 2013 годом.

С 2017 по 2022 год импортная стоимость рыбопосадочного материала заметно выросла. В 2021 году импортная стоимость впервые превысила экспортную, достигнув 54,7422 млн долларов, а в 2022 году – ещё больше, до 165,4257 млн долларов. При этом объёмы импорта в 2020-2022 годах не демонстрировали синхронного роста, что указывает на резкое увеличение цен на рыбопосадочный материал, которое и стало основной причиной столь значительного роста импортной стоимости (рис. 6).

Из-за отсутствия данных за 2011-2016 годы по результатам поиска в базе данных по посадочному материалу ракообразных, далее анализируется только ситуация с импортом и экспортом ракообразных за 2017-2022 годы.

Как видно из рис. 7, Китай преимущественно импортирует посадочный материал ракообразных, годовые объёмы импорта составляют около 20 тонн,

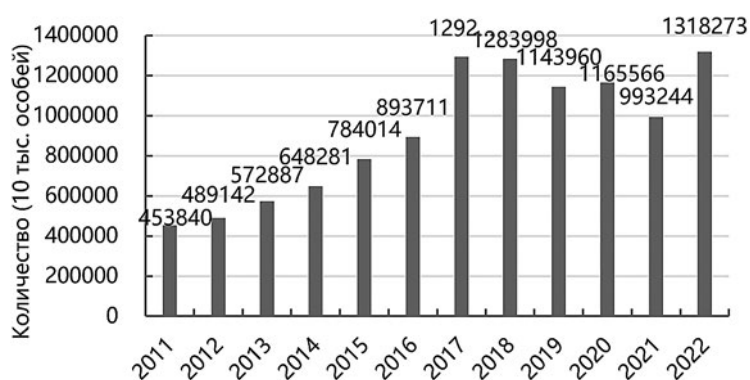


Рис. 5. Импорт молоди объектов марикультуры в Китае в 2011-2022 гг. (10 тыс. особей)

Источник: база данных таможенной службы

Fig. 5. Import of juvenile marine fish in China in 2011-2022 (10 thousand individuals)

Source: Customs Service database

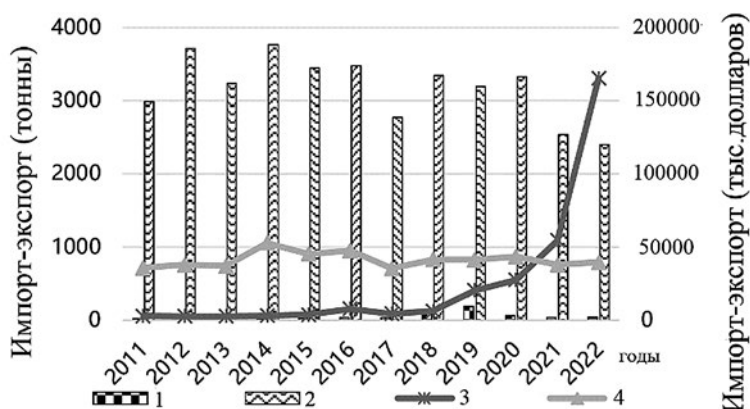


Рис. 6. Экспорт рыбопосадочного материала Китая в 2011-2022 гг.: 1 – импорт; 2 – экспорт; 3 – импорт \$; 4 – экспорт \$  
 Источник: база данных таможенной службы.

Fig. 6. China's fish planting exports in 2011-2022. 1 – import; 2 – export; 3 – import \$; 4 – export \$  
 Source: Customs Service database

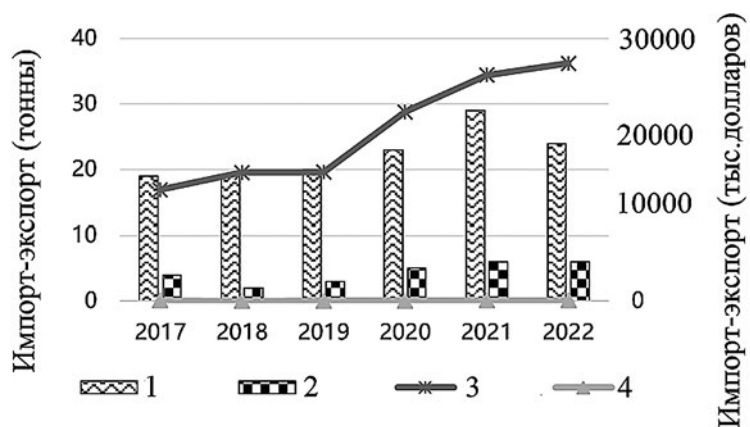


Рис. 7. Импорт и экспорт посадочного материала ракообразных в Китае, 2017-2022 гг.: 1 – импорт; 2 – экспорт; 3 – импорт \$; 4 – экспорт \$  
 Источник: база данных таможенной службы

Fig. 7. Import and export of crustacean planting material to China, 2017-2022: 1 – import; 2 – export; 3 – import \$; 4 – export \$.  
 Source: Customs Service database

в 2021 году достигли 29 тонн. С 2017 по 2022 год импортная стоимость быстро росла: даже несмотря на некоторое снижение объёмов импорта в 2022 году, импортная стоимость все равно выросла до 27,14 миллиона долларов США. Среднегодовой объем экспорта ракообразных за 2017-2022 годы составил примерно 4,3 тонны, а среднегодовая экспортная стоимость – около 41,3 тысячи долларов США.

Как показано на рис. 8, Китай преимущественно экспортирует посадочный материал моллюсков. В 2011-2018 годах объёмы экспорта составляли менее 5000 тонн в год, при этом наблюдались значительные колебания. В 2019 году экспорт достиг 7179 тонн, что примерно на 56 процентов больше, чем в 2018 году. В последующие два года (2020-2021)

объёмы экспорта стабилизировались на уровне более 6500 тонн, но в 2022 году снизились до 4405 тонн, что составляет сокращение примерно на 37,15 процента. Импорт посадочного материала моллюсков крайне незначителен, в некоторые годы полностью отсутствует. В 2022 году импорт составил 4 тонны при стоимости 86,9 тысячи долларов США.

Как видно из рис. 9, объёмы импорта и экспорта посадочного материала водных беспозвоночных в Китае по сравнению с тремя другими категориями водных биоресурсов относительно невелики, а торговые показатели по годам сильно колеблются. В ряде лет фиксируется полный ноль по импорту и экспорту. В целом, Китай все же больше экспортирует посадочный материал водных беспозвоночных: в 2015, 2018

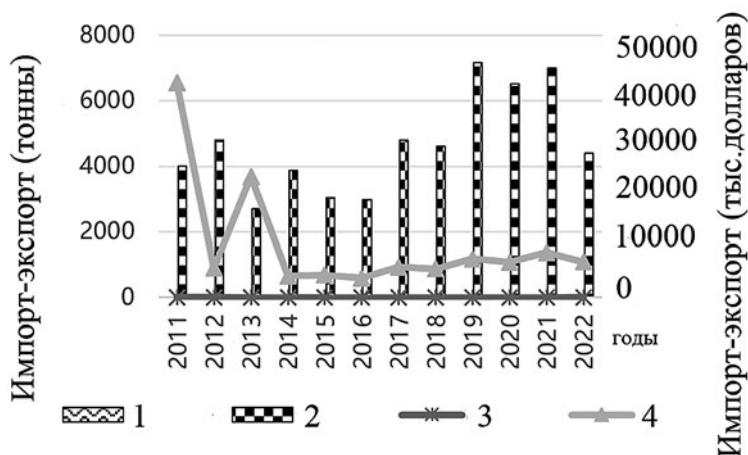


Рис. 8. Импорт и экспорт посадочного материала моллюсков в Китай, 2011-2022 гг.: 1 – импорт; 2 – экспорт; 3 – импорт \$; 4 – экспорт \$

Fig. 8. Import and export of shellfish planting material to China, 2011-2022: 1 – import; 2 – export; 3 – import \$; 4 – export \$

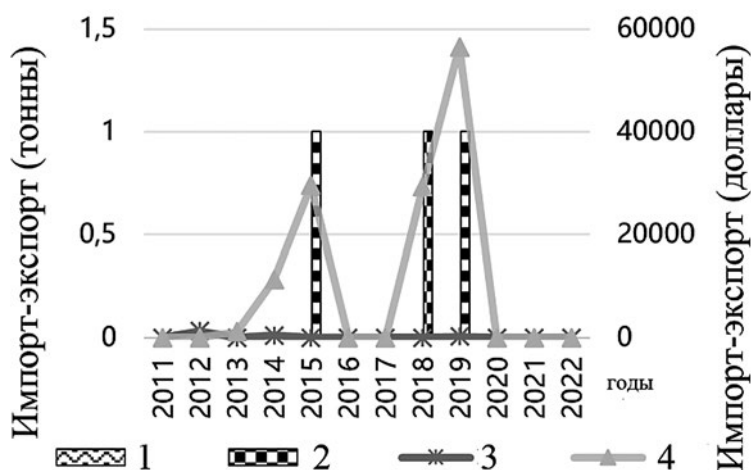


Рис. 9. Импорт и экспорт посадочного материала водных беспозвоночных в Китай, 2011-2022 гг.: 1 – импорт; 2 – экспорт; 3 – импорт \$; 4 – экспорт \$

Fig. 9. Import and export of aquatic invertebrate planting material to China, 2011-2022: 1 – import; 2 – export; 3 – import \$; 4 – export \$

и 2019 годах экспорт составил по 1 тонне, а экспортная стоимость в 2019 году достигла примерно 56,5 тысячи долларов США. В период с 2020 по 2022 год Китай практически не вёл торговли посадочным материалом водных беспозвоночных.

## II. АНАЛИЗ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ОТРАСЛИ ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА ОБЪЕКТОВ АКВАКУЛЬТУРЫ

На основе таможенных данных Главного таможенного управления Китая, включая HS-коды посадочного материала объектов аквакультуры, в настоящем исследовании были выбраны 27 HS-кодов, охватывающих такие позиции, как мальки угря, мальки карповых,

посадочный материал лаврака японского, посадочный материал осетровых, а также прочие рыбные мальки. Все данные были классифицированы по четырём категориям: рыбные мальки, посадочный материал ракообразных, моллюсков и других водных беспозвоночных. Временной охват – 12 лет, с 2011 по 2022 год.

С точки зрения доступности данных, среди индикаторов, применяемых для измерения международной конкурентоспособности посадочного материала объектов аквакультуры, сравнительно легко получить данные для индекса торговой конкурентоспособности (ТС) и индекса выявленного сравнительного преимущества чистого экспорта (NXRCA). При этом индекс ТС используется довольно широко, а NXRCA учитывает влияние импорта. Исходя из этого, далее в тексте для

анализа конкурентоспособности указанных четырёх категорий посадочного материала объектов аквакультуры будут применяться оба индекса – ТС и NXRCA.

**(1) Индекс торговой конкурентоспособности**

Индекс ТС (Trade Competitiveness) – один из наиболее часто используемых показателей для анализа международной конкурентоспособности, отражающий долю сальдо внешней торговли в общем объёме внешнеторгового оборота [Чжоу, Бай, 2018]. Формула расчёта данного показателя следующая:

$$TC_{ij} = \frac{X_{ij} - M_{ij}}{X_{ij} + M_{ij}}, \quad (1)$$

$X_{ij}$  обозначает экспорт продукции  $j$  страной  $i$ , а  $M_{ij}$  – импорт продукции  $j$  страной  $i$ . Индекс ТС, будучи относительным значением по отношению к общему объёму торговли, исключает влияние таких макроэкономических колебаний, как экономический рост или инфляция. Это значит, что независимо от абсолютных значений экспорта и импорта данный показатель всегда находится в диапазоне от –1 до 1.

Чем ближе значение индекса к 0, тем больше конкурентоспособность стремится к среднему уровню;

Если индекс равен –1, это означает, что отрасль только импортирует и не экспортирует, а чем ближе значение к –1, тем слабее конкурентоспособность;

Если индекс равен 1, это означает, что отрасль только экспортирует и не импортирует, а чем ближе значение к 1, тем выше конкурентоспособность.

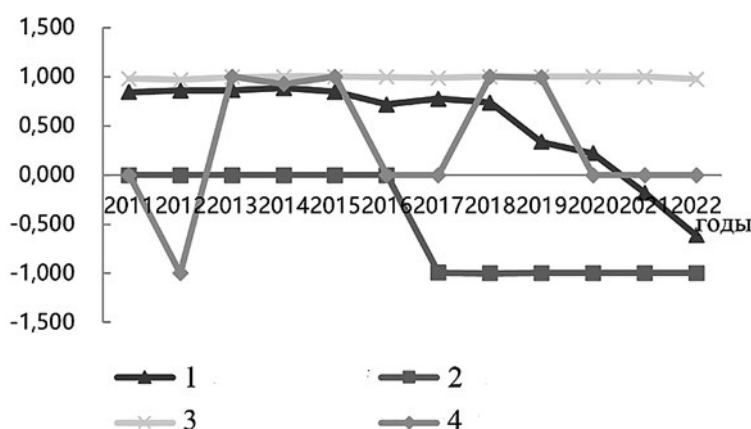
На рисунке 10 представлена динамика изменения индекса торговой конкурентоспособности за последние 12 лет по четырем категориям аквакультурных посадочных материалов: рыбные мальки, посадочный материал ракообразных, моллюсков и беспозвоночных.

В целом за период 2011-2022 годов индекс ТС китайского рыбного посадочного материала демонстрировал заметную тенденцию к снижению: с 2011 по 2018 год показатель был относительно стабильным, удерживаясь выше 0,7, что указывало на высокую международную конкурентоспособность. Однако начиная с 2019 года индекс начал резко снижаться, а к 2022 году даже ушёл в отрицательную зону, составив –0,614, что свидетельствует об ослаблении внешнеторгового преимущества.

По посадочному материалу ракообразных (учитывая, что данные за 2011-2016 годы отсутствуют) видна картина за 2017-2022 годы: как видно из рисунка 10, индекс ТС все это время оставался близким к –1, отражая крайне слабую международную конкурентоспособность.

Ситуация с посадочным материалом моллюсков прямо противоположна: в период 2011-2022 годов индекс ТС был близок или равен 1, что указывает на очень высокое конкурентное преимущество в торговле.

По посадочному материалу водных беспозвоночных из-за того, что в отдельные годы данные о торговле отсутствовали (ноль по импорту или экспорту),



**Рис. 10.** Индекс конкурентоспособности китайской торговли четырьмя категориями посадочного материала объектов аквакультуры, 2011-2022 гг.: 1 – импорт; 2 – экспорт; 3 – импорт \$; 4 – экспорт \$

Источник: Расчёты по данным таможенных баз.

**Fig. 10.** The index of competitiveness of Chinese trade in four categories of planting materials for aquaculture facilities, 2011-2022: 1 – import; 2 – export; 3 – import \$; 4 – export \$

Source: Calculations on the convolution of customs databases.

индекс ТС колебался сильнее, демонстрируя экстремальные значения: например, в 2012 году фиксировался только импорт, а в 2013, 2015, 2018 и 2019 годах – только экспорт.

В целом результаты расчётов индекса торговой конкурентоспособности показывают, что уровень конкурентоспособности по четырём категориям посадочного материала объектов аквакультуры заметно различается.

## (2) Индекс выявленного сравнительного преимущества по чистому экспорту (NXRCA)

Индекс выявленного сравнительного преимущества (RCA) был предложен американским экономистом Балассой (Balassa) в 1965 году. Он определяется как отношение доли экспорта определённого продукта страны в мировом экспорте этого продукта к доле общего экспорта страны в мировом общем экспорте. Этот индекс отражает относительное преимущество страны в экспорте отдельных товаров на мировом рынке.

Однако показатель RCA учитывает только экспорт и не отражает влияния импорта на международную конкурентоспособность отрасли [Чжоу, Бай, 2018; Yolandika, et al., 2022; Urba et al., 2023]. В 1989 году Баласса усовершенствовал этот индекс, предложив индекс выявленного сравнительного преимущества по чистому экспорту (NXRCA), который рассчитывается как разница между долей конкретного продукта в общем экспорте страны и долей его импорта в общем импорте страны. Этот индекс позволяет лучше оценить торговое конкурентное преимущество продукции.

Формула для расчёта данного показателя выглядит следующим образом:

$$NXRCA_i = \left( \frac{X_{ij}}{X_i} - \frac{M_{ij}}{M_i} \right) \times 100, \quad (2)$$

$X_{ij}$  обозначает стоимость экспорта страной  $i$  продукции  $j$ ;  $X_i$  – общий объем экспорта страны  $i$ ;  $M_{ij}$  – стоимость импорта страной  $i$  продукции  $j$ ;  $M_i$  – общий объем импорта страны  $i$ .

Если NXRCA больше 0, это означает наличие у страны сравнительного преимущества; чем выше значение, тем сильнее конкурентное преимущество. Если значение меньше 0 – страна не обладает конкурентным преимуществом, и чем ниже показатель, тем слабее конкурентоспособность. Значение, равное 0, указывает на достижение торгового баланса.

На рис. 11 представлена динамика индекса выявленного сравнительного преимущества по чистому экспорту (NXRCA) [Лю, Ли, 2016] для аквакультурных рыбных, ракообразных, моллюсковых и водных беспозвоночных мальков за период 2011-2022 годов.

Из рисунка видно, что:

- посадочный материал рыб с 2011 по 2020 год демонстрировал положительное значение NXRCA, однако общая тенденция – снижение, а после 2021 года индекс стал отрицательным. В 2022 году рассчитанное значение составило –0,006, что говорит о слабом конкурентном преимуществе.

- Посадочный материал ракообразных (анализ только за 2017-2022 годы из-за отсутствия данных за 2011-2016 годы) показывал отрицательные значения NXRCA на протяжении всего периода, что свидетельствует об отсутствии конкурентного преимущества.

- Посадочный материал моллюсков почти весь период 2011-2022 годов сохраняли положительные значения NXRCA, с лёгким ростом после 2014 года. В целом, они демонстрировали стабильное и заметное торговое преимущество.

- Посадочный материал водных беспозвоночных в основном находился около нулевого уровня, что отражает относительно сбалансированное состояние международной торговли.

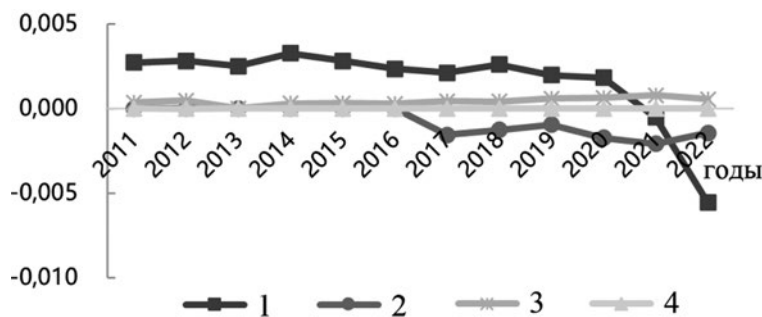


Рис. 11. Динамика индекса NXRCA для четырёх категорий посадочного материала объектов аквакультуры в Китае, 2011-2022 гг.

Посадочный материал: 1 – рыбы; 2 – ракообразные; 3 – моллюски; 4 – прочие беспозвоночные

Fig. 11. Dynamics of the NXRCA index for four categories of aquaculture planting material in China, 2011-2022

Seeding material: 1 – fish; 2 – crustaceans; 3 – mollusks; 4 – other invertebrates

### III. ВЫВОДЫ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

#### (1) Основные выводы

В настоящем исследовании на основе данных за 2011-2022 годы с использованием индекса торговой конкурентоспособности и индекса выявленного сравнительного преимущества по чистому экспорту была проведена оценка внешнеторговых конкурентных позиций посадочного материала объектов аквакультуры Китая.

Результаты расчётов показывают, что конкурентоспособность рыбопосадочного материала постепенно снижается: после 2021 года оба показателя стали отрицательными, а объем импорта превысил экспорт в стоимостном выражении. Однако в физическом объёме за период 2011-2022 годов экспорт молоди рыб стабильно превышал импорт.

Посадочный материал ракообразных в 2017-2022 годах по обоим индексам также демонстрировал устойчиво отрицательные значения, что свидетельствует о слабой международной конкурентоспособности, требующей усиления.

В противоположность этому, посадочный материал моллюсков за период 2011-2022 годов по обоим индексам стабильно демонстрировал положительные значения, в ряде лет с тенденцией к росту. Экспорт превышал импорт как в физических объёмах (ежегодно – тысячи тонн), так и в стоимости; импорт был минимален.

Для посадочного материала водных беспозвоночных характерны значительные колебания по годам: в одни годы экспорт и импорт отсутствовали полностью, что приводило к резкой изменчивости индекса торговой конкурентоспособности. Однако по индексу чистого экспортного преимущества этот сегмент в целом приближен к среднему уровню конкурентоспособности.

Таким образом, сравнительный анализ показывает, что посадочный материал моллюсков обладает явным внешнеторговым преимуществом, тогда как рыбный, ракообразный и беспозвоночный посадочный материал требуют дополнительных усилий для повышения конкурентоспособности.

#### (2) Практические рекомендации

##### *1. Укрепление роли предприятий как основных участников в системе коммерческой селекции*

Несмотря на то, что количество аквакультурных предприятий, участвующих в выведении новых пород, постепенно растёт, основную роль в селекции

по-прежнему играют научно-исследовательские институты и вузы [Хань и др., 2022]. Поэтому необходимо усиливать поддержку как предприятий, так и научных учреждений, развивать сотрудничество между ними, формировать ведущие предприятия с высокой инновационной способностью, повышать рыночную концентрацию отрасли, фокусироваться на решении технологических «узких мест» и укреплять способность предприятий участвовать в международной конкуренции.

##### *2. Повышение научно-исследовательского потенциала в селекции объектов аквакультуры*

Китай обладает богатым разнообразием генетических ресурсов аквакультуры. Следует активизировать их сбор, охрану, идентификацию, оценку и целевое использование. Необходимо усилить фундаментальные исследования в отрасли производства посадочного материала, сосредоточив усилия на сохранении, селекции, размножении, профилактике заболеваний и технологических инновациях по приоритетным видам. Цель – достичь прорыва по ключевым породам и снизить зависимость от импорта.

##### *3. Выведение качественных пород, ориентированных на рыночный спрос*

На 2023 год в Китае было официально зарегистрировано 283 новые породы объектов аквакультуры, однако реально востребованных рынком и используемых в промышленном производстве пород – значительно меньше. В ряде регионов до сих пор не хватает экономически эффективных объектов выращивания. Необходимо, чтобы научные учреждения и предприятия ориентировались на нужды потребителей и рынка, сосредоточив усилия на выведении прорывных высококачественных пород с высокой конкурентоспособностью. Также важно расширить субсидии на качественные породы, чтобы повысить заинтересованность и инициативу фермеров в их разведении и обеспечить широкое внедрение таких пород в производство.

##### *4. Развитие информационных платформ для отрасли производства посадочного материала объектов аквакультуры*

В условиях стремительной цифровизации агропромышленного комплекса органы, курирующие рыбное хозяйство, могут создать платформу для обмена информацией о спросе и предложении в сфере посадочного материала. Это позволит оперативно и публично доносить до фермеров и предприятий результаты передовых исследований и сведения о но-

вых породах, способствуя их популяризации. Также следует создать интегрированную маркетинговую платформу для отрасли, охватывающую все этапы – от селекции и размножения до продвижения и коммерциализации.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

### Финансирование

Работа выполнена в порядке личной инициативы.

### ЛИТЕРАТУРА

- Доклад о развитии* рыбной промышленности Китая (1949-2019 гг.) 2020. // Рыбное хозяйство Китая. № 9:11-21. (Кит.: 本刊讯. 中国水产种业发展报告 (1949-2019年) [J]. 中国水产, 2020(9):11-21.).
- Жэнь П., Ван Ц., Ван С., Бай Ч., Чжао Л. 2019. Общая характеристика и анализ развития патентов в рыбной промышленности Китая // Рыбное хозяйство Китая. № 6:33-36. (Кит.: 任鹏, 王建波, 王晓璇 等. 我国水产种业专利发展概况及分析[J]. 中国水产, 2019 (6):33-36.).
- Ли Ч., Ван Ц., Кэ М. 2023. Современное состояние развития рыбной промышленности Китая и рекомендации // Аквакультура. Т. 44(7):76-80. (Кит.: 李长江, 王进国, 柯淼. 我国水产种业发展现状与建议[J]. 水产养殖, 2023, 44(7):76-80.).
- Лю Ц., Ли Б. 2016. Эволюция международной конкурентоспособности Китая в сфере торговли интеллектуальной собственностью и многосторонние сравнения // Исследования в области управления наукой и техникой. Т. 36(12):135-139. (Кит.: 刘强, 李本乾. 中国知识产权贸易国际竞争力的演进与多国比较[J]. 科技管理研究, 2016, 36(12):135-139.).
- Лю Ю., Шао Ч., Ван Ш., Ли М., Фан Х. 2021. Краткое изложение современного состояния, проблем и перспектив развития рыбной промышленности Китая // Наука и техника сельских районов Китая. № 6:62-65. (Кит.: 刘永新, 邵长伟, 王书 等. 简述我国水产种业发展现状、问题与展望[J]. 中国农村科技, 2021(6):62-65.).
- Лю Ю., Шао Ч., Хоу Ц., Чжан Д., Чжэн С. 2023. Современное состояние исследований в области рыбной селекции в Китае и рекомендации по развитию // Журнал рыбохозяйственных наук. Т. 47(1):56-69. (Кит.: 刘永 邵长伟, 侯吉伦 等. 中国水产育种研究现状与发展建议[J]. 水产学报, 2023, 47(1):56-69.).
- Хань Ф., Сунь Г., Ши Б., Чжао М., Лю М., Чжэн Ю., Пэн Ж. 2022. Современное состояние коммерческой селекции в рыбном хозяйстве Китая и рекомендации по развитию // Исследования в области рыболовства. Т. 44(4):387-394. (Кит.: 韩枫, 孙广伟, 史博 等. 我国水产商业化育种现状与发展建议[J]. 渔业研究, 2022, 44(4):387-394.).
- Ху Х., Хань Ф., Гуй Ц. 2023. Современное состояние и перспективы технологических инноваций в рыбной промышленности Китая // Журнал рыбохозяйственных наук. Т. 47(1):3-12. (Кит.: 胡红浪, 韩枫, 桂建芳. 中国水产种业技术创新现状与展望[J]. 水产学报, 2023, 47(1):3-12.).
- Цао Цз., Сунь Д. 2021. Размышления о путях инновационного развития современной рыбной промышленности Китая // Исследования аграрной модернизации. Т. 42(3):377-389. (Кит.: 操建华, 孙东升. 中国现代水产种业创新发展的路径思考[J]. 农业现代化研究, 2021, 42(3):377-389.).
- Чжао Л., Юэ Д., Ли С., Сюй Л. 2022. Анализ внешней зависимости рыбной промышленности Китая и исследование стратегий реагирования // Экономика рыбного хозяйства Китая. Т. 40(6):1-11. (Кит.: 赵蕾, 岳冬冬, 李雪 等. 中国水产种业对外依存度分析及应对策略研究[J]. 中国渔业经济, 2022, 40(6):1-11.).
- Чжоу И., Бай Ш. 2018. Современное состояние экспорта рыбной продукции Китая и эмпирический анализ международной конкурентоспособности // Национальная экономика циркуляции. № 36:29-30. (Кит.: 周瑛, 白诗琪. 中国水产业出口现状及国际竞争力实证分析[J]. 全国流通经济, 2018(36):29-30.).
- Чжу Ц., У Д., Цзян Ц. 2023. Анализ международной конкурентоспособности отрасли пресноводных рыб с китайской спецификой // Экономика рыбного хозяйства Китая. Т. 41(2):50-62. (Кит.: 朱紫薇, 伍大清, 姜启军. 中国特色淡水鱼产业国际竞争力分析[J]. 中国渔业经济, 2023, 41(2):50-62.).
- Юэ Д., Лю Ц., Цао К. 2020. Характеристика импорта рыбных семян в Китае и анализ его влияния на развитие аквакультурной промышленности (на основе данных 2013-2018 гг.) // Рыбохозяйственная информация и стратегия. Т. 35(2):83-90. (Кит.: 岳冬冬, 刘子飞, 曹坤. 中国水产苗种进口特征及其对养殖产业发展的影响分析——基于2013-2018年的数据[J]. 渔业信息与战略, 2020, 35(2):83-90.).
- Янь С., Чэн Ц., Оуян Х., Ху Ц., Чэнь Б., Сунь Ин. 2018. Анализ международной конкурентоспособности фундаментальных исследований в области генетики и селекции рыб в Китае // Журнал аграрной библиографии и информации. Т. 30(6):57-62. (Кит.: 闫雪, 程锦祥, 欧阳海鹰 等. 中国水产遗传育种基础研究国际竞争力分析[J]. 农业图书情报学刊, 2018, 30(6):57-62.).
- Urba S., Senyshyn O., Zamroz M., Shparyk Y. 2023. Assessment of Export Capacity of Agricultural Sector in the Context of International Competitiveness // Management Theory and Studies for Rural Business and Infrastructure Development. 45(1):67-78. DOI: 10.15544/mts.2023.08
- Yolandika C., Sofyani T., Mursyid H., Anggraini N., Berliana D. 2022. The competitiveness of Indonesia's frozen shrimp exports in international market // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing. 1118(1):01 2074. DOI: 10.1088/1755-1315/1118/1/012074

### REFERENCES

*Report on the development of the Chinese fish industry (1949-2019)* 2020. // Chinese Fisheries. № 9:11-21. (In Chinese).

- Ren P., Wang C., Wang S., Bai C., Zhao L.* 2019. General characteristics and analysis of patent development in China's fish farming industry // *Fisheries in China*. No. 6:33-36. (In Chinese).
- Li Ch., Wang Ts., Ke M.* 2023. The current state of development of the Chinese fish industry and recommendations // *Aquaculture*. V. 44(7):76-80. (In Chinese).
- Liu C., Lee B.* 2016. The evolution of China's international competitiveness in intellectual property trade and multilateral comparisons // *Research in the field of management of science and technology*. V. 36(12):135-139. (In Chinese).
- Liu, Y., Shao H, Wang S., Li M., Fan X.* 2021. Summary of the current state, problems and prospects of the Chinese fish industry development // *Science and technology of rural areas of China*. № 6:62-65. (In Chinese).
- Liu Yu., Shao Ch., Hou Ts., Zhang D., Zheng S.* 2023. The current state of research in the field of fish breeding in China and recommendations for development // *Journal of Fisheries Sciences*. V. 47(1):56-69. (In Chinese).
- Han, F., Sun, G., Shi, B., Zhao, M., Liu, M., Zheng, Y., Peng Zh.* 2022. The current state of commercial breeding in Chinese fish farming and recommendations for development // *Research in the field of fisheries*. V. 44(4):387-394. (In Chinese).
- Hu X., Han, F., Gui C.* 2023. The current state and prospects of technological innovations in the Chinese fish industry // *Journal of Fisheries Sciences*. V. 47(1):3-12. (In Chinese).
- Cao Tzu, Sun D.* 2021. Reflections on the ways of innovative development of China's modern fish farming industry // *Research on Agrarian Modernization*. V. 42(3):377-389. (In Chinese).
- Zhao L., Yue, D., Li S., Xu L.* 2022. Analysis of the external dependence of the Chinese fish industry and research of response strategies // *The economics of China's fisheries*. V. 40(6):1-11. (In Chinese).
- Zhou Yi, Bai Sh.* 2018. The current state of China's fish exports and an empirical analysis of international competitiveness // *National Circulation Economics*. № 36:29-30. (In Chinese).
- Zhu C., Wu D., Jiang C.* 2023. Analysis of the international competitiveness of the freshwater fish industry with Chinese characteristics // *The economics of China's fisheries*. V. 41(2):50-62. (In Chinese).
- Yue D., Liu C., Cao K.* 2020. Characteristics of fish seed imports in China and analysis of its impact on the development of the aquaculture industry (based on data from 2013-2018) // *Fisheries Information and Strategy*. V. 35(2):83-90. (In Chinese).
- Yan S., Cheng C., Ouyang H., Hu C., Chen B., Sun Ying.* 2018. Analysis of the international competitiveness of basic research in genetics and breeding of fish in China // *Journal of agricultural bibliography and information*. V. 30(6):57-62. (In Chinese).
- Urba S., Senyshyn O., Zamroz M., Shparyk Y.* 2023. Assessment of Export Capacity of Agricultural Sector in the Context of International Competitiveness // *Management Theory and Studies for Rural Business and Infrastructure Development*. 45(1):67-78. DOI: 10.15544/mts.2023.08
- Yolandika C., Sofyani T., Mursyid H., Anggraini N., Berliana D.* 2022. The competitiveness of Indonesia's frozen shrimp exports in international market // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing. 1118(1):01 2074. DOI: 10.1088/1755-1315/1118/1/012074

Поступила в редакцию 05.06.2025 г.  
Принята после рецензий 20.08.2025 г.



УДК 597.423.639.3.034

## Аквакультура

# Сравнительная характеристика репродуктивных показателей domesticированных и выращенных самок каспийской белуги

А.С. Сафронов, А.Е. Барминцева, К.В. Суховер, В.Д. Щербакова, Н.С. Мюге

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»), Окружной проезд, 19, Москва, 105187  
E-mail: safronov@vniro.ru

SPIN-код: А.С. Сафронов – 2617-6501; А.Е. Барминцева – 6869-5100; К.В. – Суховер 8041-1087; В.Д. Щербакова – 7931-7567; Н.С. Мюге – 1916-2289

**Цель:** оценка возрастных изменений репродуктивных показателей и оплодотворяемости икры у выращенных самок белуги в сравнении с domesticированными в связи с перспективами их дальнейшего использования для воспроизводства.

**Используемые методы:** методология включала рыбоводно-биологические и молекулярно-генетические методы исследования, а также анализ материалов по искусственному нересту в период с 2015 по 2023 гг. для domesticированных и аквакультурных самок белуги, кроме того использован биологический материал, депонированный в УНУ «Биоресурсная коллекция ВБР» ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО». Секвенирование контрольного региона мтДНК проводили на генетических анализаторах ABI3500xL (Applied Biosystems, США).

**Новизна:** представлены современные материалы по возрастному изменению биологических показателей и их влиянию на репродукцию искусственно выращенных и domesticированных самок белуги.

**Результаты:** Сравнительный анализ domesticированных и выращенных самок белуги показал увеличение массы тела, рабочей плодовитости, оосоматического индекса, средней массы ооцита и оплодотворяемости икры от первого к третьему созреванию самок и подтвердил, что существующие проблемы с выживаемостью потомства выращенных белуг нивелируются с возрастом и корректируются подбором схем скрещивания с учётом индивидуальных гаплотипов.

**Практическая значимость:** Положительная динамика увеличения плодовитости и снижения эмбриональной смертности с увеличением возраста самок белуги, выращенных «от икры», подтверждает целесообразность продолжительного и многократного их использования для воспроизводства. Сниженный генетический полиморфизм группы самок 2004 года рождения относительно рыб другого возраста требует более тщательного планирования скрещиваний при репродукции производителей этой многочисленной группы, чтобы избежать снижения гетерогенности воспроизводимой популяции белуги на Каспии.

**Ключевые слова:** белуга *Huso huso*, плодовитость; возраст полового созревания; повторный нерест; оплодотворяемость икры; митохондриальный гаплотип.

## Comparative characteristics of reproductive indicators in domesticated and farmed females of Caspian Beluga

Alexander S. Safronov, Anna E. Barmintseva, Kira V. Sukhover, Viktoria D. Shcherbakova, Nikolay S. Muge

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), 19, Okružhnoy proezd, Moscow, 105187, Russia

**The purpose of the work:** assessment of age-related changes in reproductive parameters and the fertilization of eggs in farmed beluga females in comparison with domesticated females, in relation to their potential use for reproduction.

**Methods used:** The methodology included fisheries biological and molecular genetic research methods, as well as the analysis of materials on artificial spawning between 2015 and 2023 for domesticated and aquacultural female beluga, uses material from the RNCRCM FGBNU VNIRO (Russian National Collection of Reference Genetic Materials). The mtDNA control region was sequenced using ABI3500xL genetic analyzers (Applied Biosystems, USA).

**Novelty:** the elements of novelty are generalized modern materials on age-related changes in biological parameters and their effect on reproduction of artificially grown beluga females.

**Results:** A comparative analysis of domesticated and bred beluga females showed an increase in body weight, working fertility, oosomatic index, average oocyte mass and fertilization of eggs from the first to the third maturation of females and confirmed that existing problems with the survival of offspring of bred belugas disappear with age and are adjusted by the selection of crossing schemes taking into account individual haplotypes.

**Practical significance:** The positive dynamics of an increase in fertility and a decrease in embryonic mortality with an increase in the age of female beluga whales raised “from caviar” confirms the expediency of their prolonged and repeated use for reproduction. The reduced genetic polymorphism of a group of females born in 2004 relative to fish of a different age requires more careful planning of crosses during reproduction of breeders of this large group in order to avoid reducing the heterogeneity of the natural beluga population in the Caspian Sea.

**Keywords:** beluga *Huso huso*; fertility; age of maturation; re-maturation; fertilization of eggs; mitochondrial haplotype.

## ВВЕДЕНИЕ

Взрослая белуга, не встречая в Волге опасных для неё естественных врагов, кроме человека, может жить дольше века и достигать массы в сотни килограмм. По свидетельству академика С.Г. Гмелина [1771], на одном из астраханских учгов в его присутствии за 2 часа поймали более 500 белуг по 40, 50 (655–820 кг), а иные в 70 пудов (~1147 кг) весом [цит. по Суворов, 1948: 46-47]. В начале XX века вылов белуги достиг своего пика – с 1902 по 1907 годы вылавливали от 10 до 15 тысяч тонн белуги ежегодно. Именно тогда подорвали запасы этой рыбы, которые никогда уже не восстанавливались до прежнего уровня. За XX век имеется всего около двух десятков сообщений о вылове рыб более 600 кг (от 960 до 1224) [Зонн, 2004.].

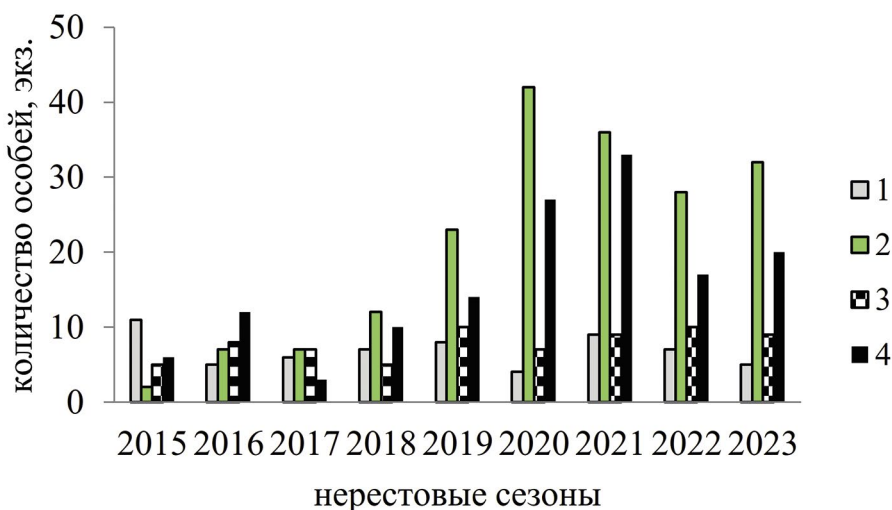
С введением на Каспии запрета морского рыболовства (1962-1970 гг.) уловы белуги находились на сравнительно высоком уровне (2,05 тыс. т в год), с 1985 по 1991 гг. уловы снизились до 0,54-0,82 тыс. т. Распад Советского Союза (с 1991 г.) и образование прикаспийских государств фактически привели к возобновлению морского промысла и резкому росту браконьерства, что свело до нуля эффект от искусственного воспроизводства белуги. К началу XXI века российские уловы белуги в Северном Каспии едва достигли 0,04-0,08 тыс. т в год [Ходоревская, Калмыков, 2012]. В 2000 г. коммерческий промысел белуги, был запрещён, и её изъятие в последующие годы осуществ-

лялось только для целей воспроизводства и выполнения научно-исследовательских программ.

Малочисленные стада из доместцированных каспийских белуг были сформированы в конце 90-х – начале 2000-х гг. в государственных и частных аквакультурных хозяйствах Астраханской области, что позволило сохранить ее искусственное воспроизводство и природный генетический потенциал популяции. Возраст полового созревания самок искусственной генерации уменьшился на 2-3 года, относительно рыб из естественной популяции, за счет оптимальных условий содержания [Тяпугин, 2006].

С 2015 по 2023 гг. в нерестовых кампаниях четырёх государственных каспийских осетровых рыбодных заводов (ОРЗ) участвовало в создании нерестовых пар 165 самок и 137 самцов белуги. При этом число участвующих в нересте рыб постепенно увеличивается за счёт созревания генераций рыб, искусственно выращенных в условиях ОРЗ (рис. 1).

Однако, качество половых продуктов, получаемых от выращенной в заводских условиях белуги, существенно отличалось от такового у доместцированных рыб [Васильева и др., 2022]. Особенно нестабильные показатели имела оплодотворяемость икры и выживаемость эмбрионов в процессе инкубации [Akhmedzhanova et al., 2021]. Эта разнокачественность созревающих производителей поставила под сомнение целесообразность использования выращенных в искусственных условиях производителей белу-



**Рис. 1.** Количество производителей белуги разного происхождения, от которых получены половые продукты рыбодного качества на 4-х Прикаспийских заводах за последние 9 лет

1 – доместцированные самки; 2 – выращенные самки; 3 – доместцированные самцы; 4 – выращенные самцы

**Fig. 1.** Number of beluga breeders of different origins from which hatchery-quality sex products were obtained at 4 Caspian factories over the last 9 years

1 – domesticated females; 2 – bred females; 3 – domesticated males; 4 – bred males

ги в дальнейшем для воспроизводства [Ахмеджанова и др., 2022; Воробьева и др., 2023]. Оценке рыбоводных качеств белуги заводского происхождения и её возрастным изменениям в сравнении с рыбами природного (доместицированного) происхождения посвящена данная работа.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Целью работы являлась оценка возрастных изменений репродуктивных показателей и оплодотворимости икры у выращенных самок белуги в связи с перспективами их дальнейшего использования для воспроизводства.

В качестве показателей при проведении оценки использовали массу тела половозрелых рыб и прирост по мере взросления производителей, изменение плодовитости (рабочей, относительной и оосоматического индекса) и средней массы икринки, оплодотворяемости икры. Объектами исследования стали две группы самок каспийской белуги 2001 и 2004 г. рождения (далее г. р.), как наиболее многочисленные и зрелые из числа содержащихся в самом большом стаде белуг на Александровском осетровом рыбноводном заводе (АОРЗ). Для оценки по репродуктивным показателям взяты самки белуги только одного ОРЗ, чтобы уменьшить влияние условий содержания. При сравнении выращенных генераций белуги с доместичированными, кроме данных маточного стада АОРЗ, использовали материалы по созреванию самок на Сергиевском осетровом рыбноводном заводе (СОРЗ) для более репрезентативной выборки. Для сравнительного анализа генетического полиморфизма ДНК самок белуги 2001 и 2004 г. р., так же дополнительно привлечена выборка самок 2001 г. р. с СОРЗ.

ОРЗ Астраханской области расположены в VI рыбноводной зоне (136-150 дней с температурой воздуха выше 15 °С) со среднегодовой суммой тепла около 5809 градусо-дней (в разные годы от 5600 до 5960 градусо-дней), из которых на период ростовых температур воды (выше 10 °С) обычно приходится 5300 градусо-дней. В нагульный период с апреля по ок-

тябрь самок белуги содержали в проточных прудах площадью от 1,5 до 2,3 га и глубиной не менее 1,8-2,0 м, в зимний период – в зимовальных прудах до 1,0 га с глубиной непромерзающего слоя воды 1,5 м. Температура воды в нагульных прудах менялась от 8 °С в весенний и осенний периоды до кратковременных значений 28-29 °С в летний период, в среднем составляя 18 °С. В зимовальных прудах температура опускается в декабре-январе до 0,5 °С, составляя в среднем 2,5-3 °С.

В нагульных прудах оборудованы кормовые места 20-25% от общей площади водоёма, кормление проводят вручную с лодки 2 раза в сутки (в утренние и вечерние часы), суточный рацион составляет 0,4-0,6% от массы рыбы. За 8 лет наблюдений для кормления использовали гранулированные корма осетровой рецептуры – гранулы 12 мм разных производителей (LeGouessant, Coppens, Лимкорм, Aquarex, БИФФ и др.) в смеси с рыбным фаршем и размороженной килькой (или мелким «частиком»).

Сравнительную оценку самок 2001 г. р. по перечисленным выше критериям проводили по 1-3 созреваниям, так как к 2023 г. часть рыб созрела в 3-й раз, а самок 2004 г. р. – по 1-2 созреваниям. Доместицированных самок так же оценивали по 1-3 созреваниям за исследуемый период. Фактический объем материала приведён в табл. 1.

Весь комплекс нерестовых работ (получение половых продуктов, осеменение, обесклеивание икры и инкубацию проводили в соответствии со стандартными методиками [Аветисов и др., 1986; Чебанов, Галич, 2013]. Обработку биологических данных выполняли в пакете программ Microsoft Office Excel 2010 с использованием стандартных статистических параметров: средней величины выборки (M), ошибки средней (m), стандартного отклонения (δ), коэффициента вариации (Cv).

При воспроизводстве осетровых рыб наиболее распространенной величиной плодовитости самок является рабочая плодовитость (РП), отражающая количество прижизненно полученной овулировавшей

Таблица 1. Количество исследованных самок белуги

Table 1. Number of studied beluga females

Год рождения	Количество созреваний самок на 2023 г., экз.				
	0 раз	1 раз	2 раза	3 раза	всего
2001	2	2	13	6	23
2004	18	40	15	-	73
Доместицированные	-	2	2	15	19

икры, и позволяющая в дальнейшем оценить количество развивающихся эмбрионов, личинок и молоди. Для расчёта РП массу отцеженной икры умножают на количество икринок в 1 грамме, которое предварительно рассчитывают в отдельной пробе.

Относительная плодовитость (ОП) рассчитана, как РП делённая на массу самки и выражается в тыс. штук икринок на 1 кг массы рыбы.

Оосоматический индекс (ОСИ) равен частному от деления массы отцеженной икры на массу самки с икрой до нереста и выражается в %.

Величину относительного прироста самок рассчитывали по формуле:

$$O = \frac{M_1 - M_0}{M_0} \times 100\%, \quad (1)$$

где  $O$  – относительный прирост;  $M_0$  – начальная масса рыбы;  $M_1$  – конечная масса рыбы

Выживаемость самок не была использована в данной работе в качестве сравнительного критерия, так как в период наблюдений с 2015 по 2023 г. выживаемость выращенных на ОРЗ и доместицированных самок была одинаковой и составила 92%. Другими словами, ежегодная гибель самок белуги не превышала 1% от общего количества рыб в стаде.

Генетический анализ проводили по пяти микросателлитным локусам и митохондриальной последовательности контрольного региона, используемых для генетической паспортизации производителей осетровых [Барминцева, Мюге, 2013]. Пробы для генетического анализа отбирали прижизненным методом в виде фрагмента спинного плавника, без вреда для жизни рыбы. Образцы фиксировали 96%-ным этиловым спиртом на ОРЗ и размещены для хранения, с присвоением им индивидуальных идентификационных номеров, в УНУ «Биоресурсная коллекция ВБР» ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО».

В работе исследован контрольный регион мтДНК 99 образцов белуги. Выделение ДНК из плавников самок проводили на адсорбционных колонках PALL 5051 (AcroPrep™ 96 1 ml filter plate with 1.0 µm Glass Fibermedia, natural housing) в соответствии с протоколом Канадского центра по штрихкодированию ДНК [Ivanova et al., 2006]. Амплификация контрольного региона митохондриальной ДНК (Д-петля) проводилась с использованием праймеров DL651 и M13AHR3 по ранее опубликованному протоколу [Мюге и др., 2008]. Секвенирование проводилось с одной цепи с универсального праймера M13(-22) – TCACACAGGAAACAGSTATGAC (5 пкМ) на «ABI 3500 Genetic analyzer», с использованием набора реактивов BigDye™ Terminator Kit v.3.1 (Applied Biosystems,

USA) согласно инструкции производителя. Анализ и выравнивание последовательностей проводились с помощью биоинформационного пакета программ SeqMan®. ver.12.0. DNASTAR. (Madison, WI, США). Гаплотипическое разнообразие ( $H_o$ ) посчитано в программе Arlequin и DNAsp 5.10.1 [Rozas, 2009].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

1. *Возраст полового созревания.* В отличие от природной популяции, где, по литературным данным, наступление половой зрелости самок каспийской белуги начинается в 18 лет, а массовое созревание происходит на 22-27 годах жизни [Васильева и др., 2022], в прудовых условиях АОРЗ самки белуги начали созревать на 3-4 года раньше (в 14-15 лет), а пик созревания приходился на 16-18 год (рис. 2). Верхний возрастной предел наступления полового созревания самок в искусственных условиях пока не установлен, т.к. из группы самок 2001 г. р. две рыбы не созрели и в 22 года, а среди самок 2004 г. р., достигших к 2023 году 19-летнего возраста, таких особей 18 экземпляров (экз.).

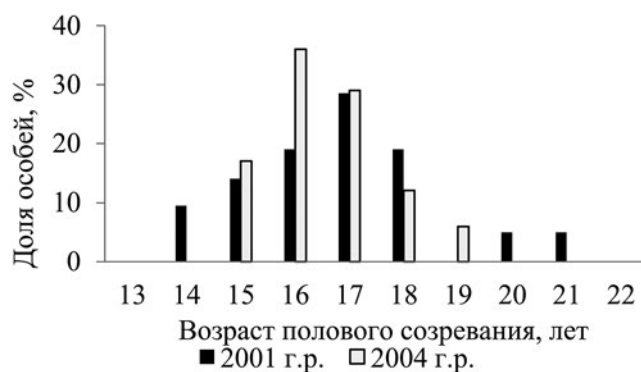


Рис. 2. Долевое распределение выращенных самок белуги по возрасту полового созревания

Fig. 2. The share distribution of aquaculture beluga females by age of maturation

Возраст повторного созревания самок белуги в группе 2001 г. р. составил 18-25 лет, в группе 2004 г. р. 18-23 года. Таким образом, средняя величина межнерестового интервала (МИ) была одинаковой в обеих группах, составив 3,5 года (от 3-х до 4-х лет). У доместицированных самок средняя величина МИ была 4 года (от 3-х до 5-и лет). Величина МИ у самок белуги из группы 2001 г. р. и у доместицированных рыб между 2 и 3 созреваниями в исследуемый период не изменилась, сохранившись для выращенных самок в пределах 3-4-х лет, и для доместицированных в пределах 3-5-и лет.

2. *Возрастные изменения массы тела самок.* Следует сразу отметить, что средняя масса самок в группах с разным годом рождения отличалась более, чем на 10 кг. Достигшие половой зрелости самки белуги 2001 г. р. были крупнее впервые созревающих самок 2004 г. р. Изменчивость половозрелых самок по массе тела была выше в группе самок 2001 г. р. (табл. 2).

Небольшое количество самок (табл. 1.) созрело только 1 раз за период наблюдения, и их средняя масса была закономерно больше (91,3±5,6 кг для рыб 2001 г. р. и 72,6±2,9 кг для рыб 2004 г. р.), чем у созревших 2 и 3 раза белуг при их 1-м созревании (табл. 2), так как у них больше времени энергия, усвоенная из корма, тратилась на накопление массы тела, а не на формирование ооцитов.

При повторном созревании самок различия в средней массе между группами сохранились на прежнем уровне (табл. 2). Наблюдался прирост массы повторно нерестующих самок в обеих возрастных группах. Величина относительного прироста самок белуги 2001 г. р. между первым и вторым созреваниями составила 16,1±1,2%, 2004 г. р. – 13,5±1,4%, что в килограммах равнялось 13,8 и 10,0 кг соответственно.

Так как количество выращенных самок белуги 2001 г. р., созревших в 3-й раз, в период исследования было ограничено шестью особями, и особи эти имели массу меньше средней величины в возрастной

группе, для них средние показатели по первому и последующим созреваниям были рассчитаны отдельно. Как видно из табл. 3, величины средней массы самок отличались от данных табл. 2. Средняя масса шести особей 2001 г. р., созревших 3 раза, только к третьему созреванию достигла значений (85,1±5,0 кг), близких к среднegrupповой массе самок 2001 г. р. при повторном созревании (86,3±4,0 кг).

Величины относительного прироста массы тела самок между 1 и 2 созреваниями (15,9±1,2%) и между 2 и 3 созреваниями (12,8±2,0%) имели близкие значения.

Распределение особей по массе тела внутри каждой возрастной группы выращенных на заводе белуг можно охарактеризовать, как отличное от нормального, с небольшим преобладанием крупноразмерных самок в группе рыб 2001 г. р. (рис. 3).

Доместицированные самки белуги при первом и последующих созреваниях, в период наблюдений с 2015 по 2023 г., имели большую массу тела, чем выращенные, что связано с большим их возрастом и, от первого к третьему созреванию, их масса увеличивалась с приростом от 6 до 16 кг в течении межнерестового периода.

3. *Возрастные изменения плодовитости самок и массы ооцитов.* Сравнивая РП белуг из групп 2001 и 2004 г. р. можно отметить, что самки в группе 2001 г.

**Таблица 2.** Статистические параметры массы тела самок белуги, созревших 2 раза за период наблюдения, в группах разного возраста

**Table 2.** Statistical parameters of body weight of beluga females in groups of different ages at the first and second maturation

Статистические параметры	1 созревание			2 созревание		
	2001 г. р.	2004 г. р.	доместицированные	2001 г. р.	2004 г. р.	доместицированные
M±m, кг	72,5±3,8	61,9±2,3	124±6,5	86,3±4,0	71,5±2,8	140,8±4,0
min-max, кг	52,5-110,0	48,3-76,6	61,4-159	61,6-124,6	55,6-87,7	97-165,8
δ	16,9	8,8	25,2	17,5	11,1	17,6
Cv, %	23,4	14,3	20,3	20,3	15,5	12,5

**Таблица 3.** Статистические параметры массы тела самок белуги 2001 г. р. и доместицированных самок, созревших 3 раза в заводских условиях

**Table 3.** Statistical parameters of body weight of beluga female born in 2001, matured 3 times in artificial conditions

Статистические параметры	1 созревание	2 созревание	3 созревание	
			выращенные	доместицированные
M±m, кг	61,8±2,9	73,9±3,7	85,1±5,0	146,0±4,4
min-max, кг	52,5-69,5	61,6-82,9	65,1-94,6	101-172
δ	7,2	8,9	12,3	18,1
Cv, %	11,6	12,2	14,5	12,3

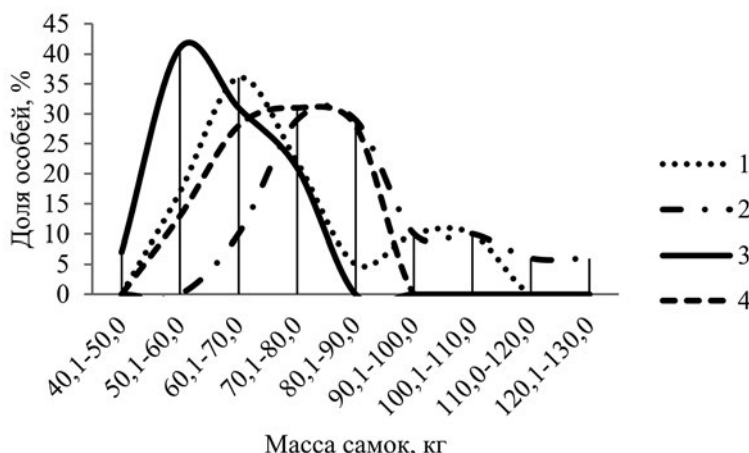


Рис. 3. Долевое распределение выращенных самок белуги разного возраста по массе тела:

1 – 1-е созревание (2001 г. р.); 2 – 2-е созревание (2001 г. р.); 3 – 1-е созревание (2004 г. р.); 4 – 2-е созревание (2004 г. р.)

Fig. 3. The share distribution of bred beluga females of different ages by body weight:

1 – 1st maturation (2001 birth year); 2 – 2nd maturation (2001 birth year); 3 – 1st maturation (2004 birth year); 4 – 2nd maturation (2004 birth year)

р. имели большую среднюю величину РП (практически на 50 тысяч икринок), и меньшую её изменчивость, чем в группе 2004 г. р. С последующим созреванием разница в средней величине РП в группах разновозрастных самок сократилась до 20 тыс. икринок, в группе 2001 г. р. плодовитость по-прежнему

была больше, при этом изменчивость РП в группе самок 2004 г. р. существенно снизилась.

В обеих группах при повторном созревании РП увеличилась относительно первого созревания (табл. 4).

Таблица 4. Показатели плодовитости самок белуги, созревших 2 раза за период наблюдения, в группах разного возраста при первом и втором созреваниях

Table 4. Fertility indicators of beluga females that matured twice during the observation period, in groups of different ages at the first and second maturation

Статистические параметры	1 созревание			2 созревание		
	доместицированные	2001 г. р.	2004 г. р.	доместицированные	2001 г. р.	2004 г. р.
Рабочая плодовитость (РП), тыс. шт.						
M±m	569,2±52,5	307,6±18,6	266,1±22,7	596,1±34,6	374,9±23,0	357,7±18,8
min-max	233,7±1062,1	112,0-448,9	94,1-400,8	355,2-900	226,8-522,4	218,8-499,0
δ	203,5	81,1	84,9	151	100,4	70,5
Cv, %	35,7	26,4	31,9	25,3	26,8	19,7
Относительная плодовитость (ОП), тыс. шт./кг						
M±m	4,6±0,3	4,2±0,2	4,3±0,4	4,3±0,2	4,2±0,2	5,0±0,3
min-max	2,6-8,4	2,1-6,3	1,2-5,6	2,4-6,6	2,5-5,4	3,4-6,8
δ	1,3	0,9	1,3	1,0	0,8	1,1
Cv, %	28,7	23,3	29,9	23,8	18,9	21,7
Осоматический индекс (ОСИ), %						
M±m	11,6±0,8	9,2±0,5	9,7±0,8	11,6±0,5	10,6±0,4	11,4±0,5
min-max	6,7-19,4	3,7-13,7	2,5-12,1	7,4-16,4	6,7-13,1	7,7-13,9
δ	3,2	2,3	2,8	2,3	1,8	2,0
Cv, %	27,6	24,8	29,2	19,8	16,9	17,9

У самок белуги, созревших за период наблюдения только 1 раз, рабочая плодовитость была выше (450,5±67,5 тыс. икринок для 2001 г. р. и 294±19,4 тыс. икринок для 2004 г. р.), чем у самок 2001 и 2004 г. р. из групп, созревших 2 и 3 раза (табл. 4-5).

Для индивидуальной оценки продуктивности самок, кроме РП, имеют важное значение и показатели плодовитости, отнесённые к массе рыбы: относительная (ОП) и оосоматический индекс (ОСИ). Не смотря на меньшую среднюю массу самок в группе белуг 2004 г. р., величина показателей ОП и ОСИ у них оказалась выше, что характеризует их, как более продуктивных, в сравнении с самками 2001 г. р. В группе самок 2001 г. р. ОП не изменилась при повторном нересте, ОСИ увеличился за счёт большей массы отцеженной икры относительно массы тела самок. В группе белуг 2004 г. р. значение обоих показателей плодовитости увеличилось при повторном получении от них икры (табл. 4). Общей тенденцией в обеих возрастных группах белуг является снижение изменчивости всех показателей плодовитости от первого к последующему созреванию.

Рабочая плодовитость доместичированных самок белуги была больше, чем у выращенных, при 1 и 2 созреваниях (табл. 4). При этом относительная плодовитость самок 2004 г. р., созревших 2 раза за период наблюдений, была выше, чем у доместичированных за счёт более мелких икринок и высокого выхода икры

(ОСИ =11,4%), близкого к более взрослым доместичированным рыбам (ОСИ=11,6%).

Для группы троекратно созревших самок белуги, как более мелких, расчёты показателей плодовитости провели отдельно от остальных особей 2001 г. р. (табл. 5).

Отмеченная выше тенденция к увеличению значений плодовитости с возрастом и снижению изменчивости их величины сохраняется и в этой группе для большинства показателей, за исключение ОП, которая оказалась ниже при повторном созревании. Однако, при третьем созревании, величина средней ОП превысила аналогичные значения, рассчитанные для предыдущих созреваний (табл. 5).

Доместичированные самки, созревшие в заводских условиях в 3-й раз за наблюдаемый период, имели самую большую, из наблюдаемых, величину РП (практически в 2 раза в сравнении с выращенными), а так же ОП и ОСИ, как в сравнении с показателями плодовитости, отмеченными для третьего созреваания белуг 2001 г. р., выращенных в заводских условиях, так и относительно собственных показателей при 1 и 2 созревании (табл. 4-5).

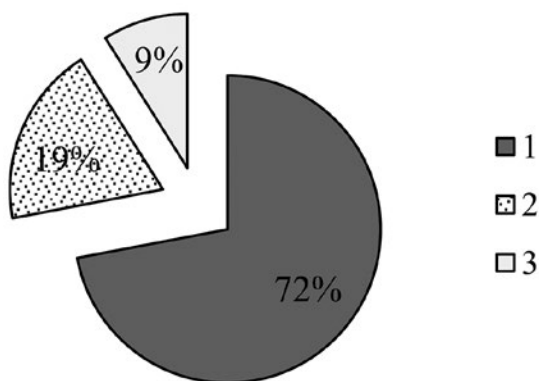
Рост массы самок белуги и её плодовитости с возрастом указывает на полноценное развитие репродуктивной системы и удовлетворительные условия искусственного содержания и питания рыб в исследуемый период.

**Таблица 5.** Показатели плодовитости самок белуги 2001 г. р. и доместичированных, созревших 3 раза в заводских условиях за период наблюдения

**Table 5.** Fertility indicators of female beluga born in 2001 and domesticated, matured 3 times in fish farm conditions during the observation period

Статистические параметры	1 созревание	2 созревание	3 созревание	
			2001 г. р.	доместичированные
Рабочая плодовитость (РП), тыс. шт.				
M±m, кг	247,3±29,5	286,8±26,3	362,6±26,9	685±39,8
min-max, кг	112,0-321,3	226,8-365,6	248,4-444,2	402,5-1034
δ	72,3	64,5	65,9	64,0
Cv, %	29,2	22,5	18,2	23,9
Относительная плодовитость (ОП), тыс. шт./кг				
M±m, кг	4,0±0,4	3,9±0,3	4,3±0,2	4,7±0,3
min-max, кг	2,1-5,1	2,8-4,7	3,5-5,1	3,1-6,7
δ	1,1	0,8	0,6	1,1
Cv, %	26,8	19,5	14,1	24,4
Оосоматический индекс (ОСИ), %				
M±m, кг	7,7±0,9	9,5±0,8	10,2±0,5	12,6±0,6
min-max, кг	3,7-9,5	6,8-11,5	8,3-11,2	8,8-16,4
δ	2,3	2,1	1,2	2,3
Cv, %	30,3	21,8	11,5	18,6

Как и плодовитость, с каждым созреванием у большинства выращенных и доместицированных самок белуги (72% от общего количества) растёт средняя масса ооцитов (рис. 4), от 22,2-22,8 мг у впервые созревающих рыб, до 25 мг у достигших третьего созревания в исследуемый период.



**Рис. 4.** Состояние массы ооцитов у самок белуги заводского происхождения при повторном созревании: 1 – увеличение массы икринок; 2- уменьшение массы икринок; 3 – масса осталась без изменения

**Fig. 4.** The state of oocyte mass in female beluga whales of factory origin during re-maturation: 1 – the mass of the eggs increased; 2 – the mass of the eggs decreased; 3 – the mass remained unchanged

У выращенных самок, которые созрели только 1 раз за время наблюдения, масса ооцитов была больше (25,7±1,3 мг у рыб 2001 г. р. и 23,7±0,5 мг у рыб 2004 г.

р.), чем у впервые созревающих белуг 2001 и 2004 г. р., от которых получено потомство 2 или 3 раза за период наблюдения (табл. 6). Масса ооцитов более однородна относительно показателей плодовитости, и величина  $C_v$  снижается от 1 к 3 созреванию самок.

Доместицированные самки белуги, как более взрослые, имели большую массу ооцитов при первом созревании, которая последовательно увеличилась с возрастом до значений, пока не достигнутых выращенными рыбами к 2023 г.

4. *Изменение оплодотворяемости икры.* Оплодотворяемость икры, измеряемая в процентах икринок с нормальным дроблением на стадии 4-х бластомеров относительно общего количества икры, заложенного на инкубацию, позволяет лишь приблизительно прогнозировать эмбриональное развитие и вылупление личинок из-за большого числа внешних факторов, влияющих на развитие эмбрионов в период инкубации. Достаточно часты случаи прекращения развития икры после завершения гастрюляции, на начальных этапах имевшей значительную долю нормально развивающихся икринок. Однако, в современных условиях работы ОРЗ, оплодотворяемость является определяющим показателем рыбоводного качества икры в период инкубации.

У впервые созревших выращенных самок белуги 2001 и 2004 г. р. средняя оплодотворяемость икры находилась в пределах 42,7-62,9%, изменяясь в очень широком диапазоне значений от 0 до 88% (табл. 7). Интересно, что у самок из этих же групп, созревших

**Таблица 6.** Статистические параметры массы ооцита разновозрастных самок белуги заводского происхождения  
**Table 6.** Statistical parameters of oocyte mass of different-aged beluga females of factory origin

Статистические параметры	1 созревание	2 созревание	3 созревание
Самки белуги 2001 г. р.			
M±m, мг	22,2±0,6	24,0±0,8	25,0±0,5
min-max, мг	15,9-27,0	21,7-26,3	21,7-29,4
δ	2,7	2,1	1,9
$C_v$ , %	12,2	8,7	7,9
Самки белуги 2004 г. р.			
M±m, мг	22,8±0,5	23,3±0,3	–
min-max, мг	2,1-5,1	19,6-29,4	–
δ	1,8	2,1	–
$C_v$ , %	8,1	9,2	–
Доместицированные самки			
M±m, мг	25,6±0,5	27,5±0,6	27,5±0,5
min-max, мг	20,8-29,4	23,8-31,3	22,7-31,5
δ	2,1	2,4	2,4
$C_v$ , %	8,3	8,7	8,8

только 1 раз за период наблюдений, оплодотворяемость икры была выше, чем у самок, созревших 2-3 раза. Понятно, что для большинства доместигированных самок, для которых в силу возраста 1 созревание на заводах было уже не первым в жизни, имели самую высокую оплодотворяемость икры (78,7%) (табл. 7).

При повторном созревании средняя оплодотворяемость увеличилась в обеих возрастных группах самок белуги 2001 и 2004 г. р. и осталась на прежнем уровне у доместигированных рыб.

Третье созревание в группе самок белуги 2001 г. р. не выявило дальнейшего увеличения оплодотворяемости полученной от них икры, что, возможно, связано с недостаточным размером выборки (6 особей). В группе доместигированных самок средняя оплодотворяемость незначительно увеличилась (с 78% до 81%: табл. 7).

5. *Молекулярно-генетический анализ.* Секвенирование контрольного региона митохондриальной ДНК трех исследованных выборок показало, что для доместигированных самок и белуг 2001 г. р. с АОРЗ и СОРЗ они представляют из себя достаточно полиморфные группы особей, тогда как выборка 2004 г. р. с АОРЗ является генетически однородной с сильно сниженным гаплотипическим разнообразием. По сути, все самки белуги 2004 г. р., кроме двух особей являются сибсами между собой. Характеристика генетического полиморфизма по митохондриальной ДНК представлена в табл. 8.

Как видно из таблицы 8, относительное гаплотипическое разнообразие у самок 2004 г. р. в сравнении с самками 2001 г. р. меньше на порядок, что не может не сказаться на будущем потенциале использования

**Таблица 7.** Статистические параметры оплодотворяемости икры у разновозрастных самок белуги заводского происхождения

**Table 7.** Statistical parameters of fertilization of eggs in female beluga of different ages of artificial origin

Статистические параметры	1 созревание	2 созревание	3 созревание
Самки белуги 2001 г. р.			
M±m, %	42,7±7,1	50,4±8,1	50,4±25,3
min-max, %	0-88,0	0-85,0	0-80,0
δ	30,9	31,4	43,8
Cv, %	72,4	62,4	87,1
Самки белуги 2004 г. р.			
M±m, %	62,9±4,5	66,0±5,9	–
min-max, %	8,0-88,0	21,0-89,0	–
δ	23,5	22,3	–
Cv, %	37,4	33,8	–
Самки белуги 2001 г. р. созревшие только 1 раз за период наблюдения			
M±m, %	73,5±8,5	–	–
min-max, %	65,0-82,0	–	–
δ	12	–	–
Cv, %	16,4	–	–
Самки белуги 2004 г. р. созревшие только 1 раз за период наблюдения			
M±m, %	59,0±6,9	–	–
min-max, %	0-85,4	–	–
δ	31,5	–	–
Cv, %	53,4	–	–
Доместигированные самки белуги			
M±m, %	78,7±2,4	78,2±2,2	81,0±1,1
min-max, %	57,0-90,5	52,0-87,5	71,0-87,7
δ	9,4	9,6	4,6
Cv, %	12,0	12,3	5,7

**Таблица 8.** Характеристика генетического полиморфизма выращенных самок белуги  
**Table 8.** Characteristics of the genetic polymorphism of artificial breeding beluga females

Название выборки	АОРЗ 2001 г. р.	АОРЗ 2004 г. р.	СОРЗ 2001 г. р.
Количество особей	21	55	23
Количество мт-гаплотипов	11	2	9
Относительное гаплотипическое разнообразие (Ho)	0,52	0,04	0,39
Массовый гаплотип	отсутствует, представлены равномерно	HUShap30	HUShap63
Доля особей, несущих массовый гаплотип, %	-	96	39

белуг 2004 г. р. для целей искусственного воспроизводства.

Подводя итоги сравнительной оценки выращенных в заводских условиях самок белуги с domestцированными можно выделить ряд общих тенденций к изменению биологических показателей с увеличением возраста и количества созреваний. Эти тенденции характерны для всех особей в группе одновозрастных рыб.

От первого к третьему созреванию у белуг, как заводского происхождения, так и domestцированных, происходит: увеличение массы тела, рабочей плодовитости, оосоматического индекса, средней массы ооцита и оплодотворяемости икры. Так же происходит постепенное снижение величины относительного прироста массы тела у большинства рыб.

Самки, достигшие полового созревания позже остальных в группе одновозрастных особей, имеют большую массу тела, плодовитость и оплодотворяемость икры, чем ранне- и среднеспелые рыбы.

За исследуемый период domestцированные самки белуги опережали выращенных по всем биологическим параметрам, в том числе и генетической разнoкачественности. Однако, положительная динамика увеличения плодовитости и снижения эмбриональной смертности с увеличением возраста самок белуги, выращенных на ОРЗ «от икры», позволяет сделать вывод, что репродуктивные показатели этих самок со временем достигнут нормативных величин, принятых ранее для выловленных из природы («заготовленных») рыб: средняя масса самок – 90 кг, доля самок, продуцирующих доброкачественную икру – 90%, средняя оплодотворяемость икры – 80%<sup>1</sup>.

1 Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 25 августа 2015 г. № 377 «О внесении изменений в Методику расчёта объёма добычи (вылова) водных биологических ресурсов, необходимого для обеспечения сохранения водных биологических ресурсов и обеспечения деятельности рыбоводных хозяйств, при осуществлении рыболовства в целях аквакультуры (рыбоводства)»: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001201510300031?ysclid=mc1wbxdlop457090283>.

Показанное низкое гаплотипическое разнообразие самок белуги выборки 2004 г. р., коррелирует с более низкими показателями по исследованным рыбоводным характеристикам икры и доказывает важность работ по предварительному планированию схем скрещивания производителей на основе индивидуальных генетических характеристик в искусственном воспроизводстве для сохранения генетического полиморфизма естественных популяций.

Разработанная и действующая на ОРЗ ФГБУ «Главрыбвод» биотехника полноциклового культивирования каспийской белуги позволяет уже в нынешнем десятилетии многократно увеличить выпуск молоди белуги за счёт использования выращенных в искусственных условиях производителей, увеличив шансы сохранения в природной среде этого уникального вида осетровых рыб.

## ВЫВОДЫ

– с возрастом у самок белуги, вне зависимости от происхождения, с ростом массы тела происходит увеличение и репродуктивных показателей: плодовитости, индивидуальной массы икринки, и оплодотворяемости икры;

– самки, достигшие полового созревания позже остальных одновозрастных особей, имеют большую массу тела, плодовитость и оплодотворяемость икры, чем ранне- и среднеспелые рыбы;

– репродуктивные показатели выращенных на рыбоводных заводах самок белуги с возрастом достигают величин, характерных для domestцированных особей, достигших полового созревания в природных условиях;

– снижение гаплотипического разнообразия самок белуги приводит к уменьшению оплодотворяемости икры

## Благодарности

Авторы глубоко благодарны всем сотрудникам Александровского и Сергиевского ОРЗ Каспийского

филиала ФГБУ «Главрыбвод» и сотрудникам Каспийского филиала ФГБНУ «ВНИРО» (КаспНИРХ) за активное участие и помощь в сборе фактического материала в 2015-2023 гг., анонимным рецензентам за анализ работы и полезные замечания.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов.

### Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

### Финансирование

Исследования выполнены в рамках госзадания ФГБНУ «ВНИРО».

### ЛИТЕРАТУРА

Аветисов К.Б., Аскеров М.К., Баденко Л.В., Блохин С.В., Гинзбург А.С., Гончаров Б.Ф. и др. 1986. Сборник инструкций и нормативно-методических указаний по промышленному разведению осетровых рыб в Каспийском и Азовском бассейнах. М.: ВНИРО. 271 с.

Ахмеджанова А.Б., Пономарев С.В., Федоровых Ю.В., Левина О.А., Вячтин В.В., Дутиков Е.А. 2022. Исследование морфофизиологических показателей ремонтной группы белуги, культивируемой в искусственных условиях среды. // Вестник АГТУ. Серия Рыбное хоз-во. № 1. С. 86-94. DOI: 10.24143/2073-5529-2022-1-86-94

Барминцева А.Е., Мюге Н.С. 2013. Использование микросателлитных локусов для установления видовой принадлежности осетровых (Acipenseridae) и выявления особей гибридного происхождения // Генетика. Т. 4. № 9. С. 1093-1105.

Васильева Л.М., Магзанова Д.К., Судакова Н.В., Анохина А.З., Гуцуляк С.А., Кукушкина И.В. 2022. Репродуктивная функция самок осетровых рыб естественной и искусственной генерации // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. № 37. С. 8-33. DOI:10.47612/978-985-880-000000-0-2022-37-8-33

Воробьева О.А., Горбенко Е.В., Сергеева С.Г., Павлюк А.А., Хоршельцева В.Н. 2023. Особенности рыбоводного освоения белуги из ремонтно-маточного стада Донского осетрового завода // Водные биоресурсы и среда обитания. Т. 6. № 3. С. 75-86. DOI: 10.47921/2619-1024-2023-6-3-75

Зонн И.С. 2004. Каспийская энциклопедия / А.Н. Косарев ред. Инженер. науч.-произв. центр по вод. хоз-ву, мелиорации и экологии «Союзводпроект». М: Междунар. отношения, ГУП ИПК Ульян. дом печати. 461 с.

Мюге Н.С., Барминцева А.Е., Расторгуев С.М., Мюге В.Н., Барминцев В.А. 2008. Полиморфизм контрольного региона митохондриальной ДНК восьми видов осетровых и разработка системы ДНК-идентификации видов // Генетика. Т. 44. № 7. С. 913-919.

Суворов Е.К. 1948. Основы ихтиологии. 2-е издание, дополненное. Л.: Советская наука. 580 с.

Тяпугин В.В. 2006. Приручение производителей белуги естественной генерации – один из способов ускоренного формирования репродуктивных стад. // Аквакультура осетровых рыб: достижения и перспективы развития. Мат. 4-й межд. науч.-практ. конф. М.: ВНИРО. С. 130-131.

Ходоревская Р.П., Калмыков В.А. 2012. Современное состояние популяции белуги в Волго-Каспийском рыбохозяйственном бассейне после запрета Российской Федерацией её промыслового изъятия // Вопросы рыболовства. Т. 13. № 4(52). С. 887-894.

Чебанов М.С., Галич Е.В. 2013. Руководство по искусственному воспроизводству осетровых рыб. Технический доклад ФАО по рыбному хозяйству. Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН. Анкара. 325 с.

Akhmedzhanova A., Ponomarev S., Fedorovykh Yu., Levina O., Dutikov E., Vyatchin V. 2021. Morphofunctional assessment of domesticated and aquacultured beluga females. // E3S Web of Conferences. INTERAGROMASH 2021. 14th intern. scient. and pract. Conf. on state and prospects for the development of agribusiness. (Rostov-on-Don, 24-26 feb. 2021), Rostov-on-Don, EDP Sciences, No. 273, 03001 (2021). DOI: 10.1051/e3sconf/20212730300.

Ivanova N.V., de Waard J., Hebert P.D.N. 2006. An inexpensive, automation-friendly protocol for recovering high-quality DNA // Mol. Ecology Notes. V. 6. P. 998-1002. DOI: 10.1111/j.1471-8286.2006.01428.x

Rozas J. 2009. DNA Sequence Polymorphism Analysis using DNAsp // Bioinformatics for DNA Sequence Analysis; Methods in Molecular Biology / Posada D. ed. N-J. USA: Humana Press. V. 537. P. 337-350. DOI: 10.1007/978-1-59745-251-9\_17

### REFERENCES

Avetisov K.B., Askerov M.K., Badenko L.V., Blokhin S.V. Ginzburg A.S., Goncharov B.F. et al. 1986. Collection of instructions and regulatory and methodological guidelines for the industrial breeding of sturgeon fish in the Caspian and Azov basins. Moscow: VNIRO Publish. 271 p. (In Russ.).

Akhmedzhanova A.B., Ponomarev S.V., Fedorovykh Yu.V., Levina O.A., Vyatchin V.V., Dutikov E.A. 2022. Investigation of morphophysiological parameters of beluga replacement stock cultivated in artificial environmental conditions. // Vestnik ASTU. Series: Fishing Industry. V. 1. P. 86-94. DOI: 10.24143/2073-5529-2022-1-86-94 (In Russ.).

Barmintseva A.E., Muge N.S. 2013. The use of microsatellite loci to establish the species of sturgeon (Acipenseridae) and identify individuals of hybrid origin // Genetics. V. 4. No. 9. P. 1093-1105. (In Russ.).

Vasilyeva L.M., Magzanova D.K., Sudakova N.V., Anokhina A.Z., Gutsulyak S.A., Kukushkina I.V. 2022. The reproductive function of female sturgeon fish of natural and artificial generation. // Issues of fisheries in Belarus. No. 37. P. 8-33. DOI:10.47612/978-985-880-000000-0-2022-37-8-33. (In Russ.).

Zonn I.S. 2004. The Caspian Encyclopedia / A.N. Kosarev ed. Engineer. scientific-proc. the water center. household, land reclamation and ecology «Soyuzvodproekt». Moscow: In-

- ternational. relations, SUE IPK Ulyanovsk. House of printing. 461 p. (In Russ.).
- Mugue N.S., Barmintseva A.E., Rastorguev S.M., Mugue V.N., Barmintsev V.A.* 2008. Polymorphism of the mitochondrial DNA control region in eight sturgeon species and development of a system for DNA-based species identification // Russian Journal of Genetics. V. 44. No. 7. P. 793-798. DOI: 10.1134/S1022795408070065. (In Russ.).
- Suvorov E.K.* 1948. Fundamentals of ichthyology. 2nd edition, expanded. Leningrad: Soviet science. 580 p. (In Russ.).
- Tyapugin V.V.* 2006. Domestication of beluga producers of natural generation is one of the ways to accelerate the formation of reproductive herds. // Aquaculture of sturgeon fish: achievements. and development prospects. Proc. of the 4th Intern. Scient. and Pract. Conf. Moscow: VNIRO Publish. P. 130-131. (In Russ.).
- Khodorevskaya R.P., Kalmykov V.A.* 2012. The current state of the beluga population in the Volga-Caspian fisheries basin after the Russian Federation banned its commercial seizure // Fisheries. V. 13 No. 4(52). P. 887-894. (In Russ.).
- Chebanov M.S., Galich E.V.* 2013. Sturgeon artificial reproduction handbook. FAO Technical Report on Fisheries. Food and Agriculture Organization of the UN., Ankara, 325 p.
- Akhmedzhanova A., Ponomarev S., Fedorovykh Yu., Levina O., Dutilkov E., Vyatchin V.* 2021. Morphofunctional assessment of domesticated and aquacultured beluga females. // E3S Web of Conferences. INTERAGROMASH 2021. 14th intern. scient. and pract. Conf. on state and prospects for the development of agribusiness. (Rostov-on-Don, 24-26 feb. 2021), Rostov-on-Don, EDP Sciences, No. 273, 03001 (2021). DOI: 10.1051/e3sconf/20212730300.
- Ivanova N.V., de Waard J., Hebert P.D.N.* 2006. An inexpensive, automation-friendly protocol for recovering high-quality DNA // Mol. Ecology Notes. V. 6. P. 998-1002. DOI: 10.1111/j.1471-8286.2006.01428.x
- Rozas J.* 2009. DNA Sequence Polymorphism Analysis using DNAsp // Bioinformatics for DNA Sequence Analysis; Methods in Molecular Biology / Posada D. ed. N-J. USA: Humana Press. V. 537. P. 337-350. DOI: 10.1007/978-1-59745-251-9\_17

Поступила в редакцию 15.06.2025 г.  
Принята после рецензии 01.07.2025 г.



УДК 639.3.043.13:577.115.3:597.552.5

## Аквакультура

# Особенности липидного обмена радужной форели при выращивании на комбикормах с различным соотношением полиненасыщенных жирных кислот

С.В. Биндюков, И.В. Бурлаченко, Р.В. Артемов, В.В. Гершунская, М.В. Арнаутов, Н.Ю. Терпугова

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»), Окружной проезд, 19, Москва, 105187  
E-mail: bindyukov@vniro.ru

SPIN-код: С.В. Биндюков – 5459-0085; И.В. Бурлаченко – 7492-7365; Р.В. Артемов – 1695-5420; В.В. Гершунская – 6037-6940; М.В. Арнаутов – 9454-3050; Н.Ю. Терпугова – 5485-9250

**Цель работы:** изучение способности лососевых рыб синтезировать длинноцепочечные полиненасыщенные жирные кислоты из их предшественников при замене рыбьего жира растительными маслами в комбикормах для радужной форели при условии сохранения высокого темпа роста и выживаемости рыб.

**Материалы и методы:** эксперимент проводили в течение 150 суток на молоди радужной форели (средняя начальная масса 91 г), выращиваемой в условиях системы замкнутого водоснабжения. Разработаны и испытаны комбикорма с соотношением линолевой и альфа-линоленовой кислот от 1:1 до 1:3 и суммарном содержании эйкозапентаеновой и докозагексаеновой жирных кислот от 0,3 до 1,2 г/100 г корма. Состав жирных кислот общих липидов кормов и мышечной ткани форели анализировали на хроматографе «Кристалл 5000.2». Статистическую обработку данных осуществляли с помощью однофакторного дисперсионного анализа методом ANOVA.

**Результаты:** показано, что замена в кормах рыбьего жира на рапсовое и льняное масла позволяет сохранить высокие рыбоводно-биологические показатели и обеспечивает биосинтез эйкозапентаеновой и докозагексаеновой жирных кислот из их предшественников растительного происхождения. Дефицит длинноцепочечных полиненасыщенных жирных кислот в корме (суммарное содержание не более 0,3 г на 100 г), может быть компенсирован за счёт их синтеза организмом форели при достаточном (более 5 г/100 г корма) уровне альфа-линоленовой кислоты. Увеличение содержания в корме длинноцепочечных полиненасыщенных жирных кислот до 1,2 г/100 г при применении свыше 120 суток стимулирует усиление темпа роста форели на 17% по сравнению с кормом, включающим только рыбий жир.

**Новизна и практическая значимость:** полученные результаты свидетельствуют о возможности замены в комбикормах для форели рыбьего жира на рапсовое и льняное масло без ущерба для продуктивности и качества продукции, включая повышенное содержание полиненасыщенных жирных кислот.

**Ключевые слова:** радужная форель, комбикорм, замена рыбьего жира, биосинтез жирных кислот, эйкозапентаеновая кислота, докозагексаеновая кислота.

## Lipid metabolism of rainbow trout reared on diets with different ratios of polyunsaturated fatty acids

Sergey V. Bindukov, Irina V. Burlachenko, Roman V. Artemov, Maksim V. Arnautov, Valeriya V. Gershunskaya, Nadezhda Yu. Terpugova

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), Okružhnoy proezd, 19, Moscow, 105187, Russia

**Objective:** to evaluate the ability of salmonids to both keep a high growth rate and survival rate and synthesize long-chain polyunsaturated fatty acids from their precursors when fish oil is partially or fully replaced with vegetable oils in rainbow trout diets.

**Materials and methods:** The experiment was carried out for 150 days on juvenile rainbow trout (average initial weight 91 g) reared in a recirculating aquaculture system. Compound feeds with a ratio of linoleic and alpha-linolenic acids from 1:1 to 1:3 and a total content of eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids from 0.3 to 1.2 g/100 g of feed have been developed and tested. The composition of fatty acids of total lipids of feed and muscle tissue of trout was analyzed on a Crystal 5000.2 chromatograph. Statistical data processing was carried out using single-factor analysis of variance by the ANOVA method.

**Results:** Partial or complete substitution of fish oil with rapeseed and linseed oils resulted in high fish farming indicators and ensured the biosynthesis of EPA and DHA from plant-derived precursors. The deficiency of long-chain polyunsaturated fatty acids in the diets (total content not exceeding 0.3 g per 100 g) with a sufficient level (more than 5 g / 100 g of feed) of alpha-linolenic acid could initiate the mechanism of PUFA biosynthesis in trout muscle. The use of diet with 1.2g of long-chain PUFA per 100 g of feed for 120 days stimulated an additional 17% increase in trout growth rate compared to diets including only fish oil.

**Novelty and practical significance:** These findings suggest the possibility of substituting fish oil in trout diets with rapeseed and linseed oils without compromising performance and product quality, including the content of highly unsaturated fatty acids.

**Keywords:** rainbow trout, feed, fish oil replacement, fatty acid biosynthesis, eicosapentaenoic acid, docosahexaenoic acid.

## ВВЕДЕНИЕ

Аквакультура является одной из наиболее быстро развивающихся отраслей мирового сельского хозяйства и играет существенную роль в обеспечении продовольственной безопасности в условиях растущего населения и дефицита ресурсов пищевого белка. Рост товарного рыбоводства обусловлен не только потребностью в обеспечении человека рыбой и морепродуктами, но и стремлением к устойчивому использованию водных биологических ресурсов и сокращению нагрузки промысла на дикие популяции. Согласно данным FAO, в 2023 году мировой объём выращиваемой рыбы превысил долю продукции промышленного рыболовства на 3% [FAO, 2024].

В Российской Федерации рыбоводство также является быстро растущим и меняющимся сектором рыбного хозяйства. В 2023 году объёмы выращивания лососевых впервые превзошли объёмы традиционно культивируемых в нашей стране карповых видов рыб и составили 158,6 тыс. тонн<sup>1</sup>. Вместе с тем стратегия развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года ставит целью увеличение производства продукции аквакультуры до 618 тыс. тонн [Бурлаченко и др., 2024]. Этого можно достичь за счёт увеличения производства лососевых рыб благодаря их динамичным темпам роста, высокой выживаемости и конверсии корма, что обеспечивает значительный экономический эффект при сохранении стабильного спроса на рынке [Александрова, 2021].

Радужная форель *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) – один из наиболее широко используемых объектов выращивания среди лососевых. Она обладает высокой гастрономической привлекательностью и пищевой ценностью, что обусловлено содержанием полноценного белка с оптимальным аминокислотным составом, а также высоким уровнем липидов, содержащих полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК) [Фокина и др., 2020; Rasmussen, 2001]. Эти жирные кислоты, включая широко известные эйкозапентаеновую (ЭПК) и докозагексаеновую (ДГК), синтезируются, в основном водными организмами и крайне дефицитны в продуктах наземного происхождения [Гладышев, 2012; Tocher et al., 2019].

Согласно данным литературы, уровень ЭПК и ДГК в липидах лососевых рыб коррелирует с содержанием данных кислот в применяемых для них комбикормах и, преимущественно, обеспечивается за счёт введения

в корма рыбьего жира [Биндюков и др., 2022; Lufti et al., 2023; Glencross et al., 2024]. Однако также имеются сведения, что из-за эволюционного давления и геномной мутации WGD (whole genome duplication) лососевые рыбы способны к биосинтезу длинноцепочечных ПНЖК (ДЦ ПНЖК) за счёт экспрессии генов *fadsd5*, *fadsd6*, *elovl2*, *elovl5a*, которые кодируют ферменты элонгазы и десатуразы, ответственные за удлинение ПНЖК в ЭПК и ДГК в ходе пути Шпрехера [Monroig et al., 2022; Хуртина и др., 2024]. Таким образом, в организме форели имеются механизмы, обеспечивающие синтез ДЦ ПНЖК. В этом случае, благодаря полезной биоконверсии жирных кислот, лососевых рыб можно рассматривать не только как потребителей, но и как потенциальных производителей этих незаменимых в питании человека соединений [Turchini et al., 2011; Гладышев, 2021; Васильева и др., 2023].

Обеспечение каскада упомянутых биохимических процессов у рыб требует наличия субстрата для синтеза ДЦ ПНЖК. В качестве субстрата могут быть использованы жирные кислоты с относительно коротким углеродным рядом, например альфа-линоленовая (АЛК) и линолевая (ЛК) кислота [Thanuthong et al., 2011; Turchini et al., 2022; Kajbaf et al., 2025]. Источником таких кислот служат липиды наземных растений, а также пресноводные организмы, тогда как в морских организмах их содержание обычно ниже и опосредовано трофической цепью. Учитывая способность форели к элонгации и десатурации жирных кислот, которая помогает рыбе обеспечивать собственные потребности в балансе нутриентов *in vivo*, оптимизация состава кормов может быть достигнута за счёт обоснованного снижения доли дефицитных и дорогостоящих компонентов водного происхождения и их заменой более доступными растительными маслами. Целью данного исследования являлась оценка способности радужной форели к биоконверсии АЛК и ЛК в ДЦ ПНЖК в условиях, когда рыбий жир в рационе полностью или частично замещается растительными маслами, без ущерба для продуктивности – скорости роста и показателей выживаемости рыб.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования выполняли на базе установки замкнутого водоснабжения (УЗВ) филиала по пресноводному рыбному хозяйству ФГБНУ «ВНИРО» («ВНИИПРХ») (п. Рыбное, Дмитровский р-н, Московская обл.). Объектом исследований являлась радужная форель породы стальноголовый лосось «steelhead». Развивающаяся диплоидная икра поступила из племенного форелеводческого завода «Адлер» на стадии

<sup>1</sup> <https://fish.gov.ru/wp-content/uploads/2024/03/sbornik-25-03-2024.pdf>

глазка. Возраст рыб на начало эксперимента составил 6 месяцев, средняя начальная масса – 91 г.

Для проведения опытов были сформированы 6 экспериментальных и 1 контрольная группа рыб по 160 экз. в каждой. Каждая группа рыб была размещена в бассейне объёмом 1,2 м<sup>3</sup>, начальная плотность посадки составила 11 кг/м<sup>3</sup>. Скорость водообмена в УЗВ была 1 м<sup>3</sup>/час. Температура воды за период эксперимента колебалась в пределах 15,8-16,7 °С. Продолжительность опыта составила 150 суток.

Гидрохимические параметры среды (температура, содержание кислорода, рН, содержание нитритов) фиксировали 2 раза в сутки: в 8:00 и 16:00. Температуру определяли с помощью водного термометра с точностью до 0,1 °С. Содержание растворенного в воде кислорода, регистрировали с помощью термооксиметра ОхуGuard Handy Polaris. Значения рН определяли рН-метром Hanna. Содержание нитритов анализировали с помощью тест систем VladOx laboratory. Концентрация растворенного в воде кислорода колебалась от 7,2 до 10,4 мг О<sub>2</sub>/л, значения рН регистрировали в пределах 6,5-7,5, уровень нитритов в системе составлял не более 0,5 мг/л, что соответствует рекомендуемому условиям для выращивания форели [Барулин и др., 2016].

Для оценки способности радужной форели к эндогенному синтезу ДЦ ПНЖК из их предшественников, содержащихся в растительных маслах, были разработаны и сбалансированы рецепты комбикормов с различным соотношением рыбьего жира – источника ЭПК и ДГК, а также рапсового и льняного масел – источников ЛК и АЛК (как субстрата для синтеза ЭПК и ДГК). Количество ЛК и АЛК в рапсовом масле составляло 22,5 и 9,5% от суммы жирных кислот, в льняном масле – 14,55 и 58,5% соответственно, что делало их подходящим источником соответствующих жирных кислот. В рецептах варьировали содержа-

ем ДЦ ПНЖК от 0,3 до 1,2 г/100 г корма и соотношением ЛК и АЛК (табл. 1). При этом ЛК рассматривалась, главным образом, с позиций энергетического обеспечения метаболических процессов, а АЛК выступала как предшественник ДЦ ПНЖК. За исключением липидных компонентов, состав экспериментальных кормов был одинаковым. Они включали рыбную муку, пшеницу, белки растительного происхождения, белки животного происхождения, монокальцийфосфат, премикс. Экспериментальные комбикорма были изготовлены в филиале по пресноводному рыбному хозяйству ФГБНУ «ВНИРО» («ВНИИПРХ») на полупромышленной линии Amandus Kahl (Германия) методом экструдирования с использованием матрицы с отверстиями диаметром 4,5 мм. Для удобства идентификации в шифре групп рыб, получавших комбикорма фигурирует расчётное значение суммы ЭПК и ДГК от 0,3 до 1,2 г/100г корма и соотношение ЛК и АЛК. Контрольный корм без растительных масел носил название «КРФР РЖ».

С целью мониторинга роста и состояния здоровья, особенностей метаболизма экспериментальных рыб регулярно (на 30, 60, 90, 120 и 150 сутки выращивания) проводили контрольные обловы. В процессе облова фиксировали общую биомассу рыб каждой группы, проводили индивидуальное взвешивание 50-ти особей из каждой группы для оценки вариабельности роста.

Воздействие на рыб комбикормов с различными липидными компонентами оценивали по рыбоводно-биологическим показателям (абсолютный прирост, относительный прирост, кормовые затраты, выживаемость) [Правдин, 1966]. Для оценки процессов ассимиляции и трансформации рыбами питательных веществ кормов использовали расчётный коэффициент эффективности использования вещества (Эи). Этот коэффициент представляет собой отношение количе-

**Таблица 1.** Состав и характеристика липидных компонентов экспериментальных комбикормов  
**Table 1.** Composition and characteristics of lipid components in experimental diets

Шифр группы	Содержание, % от суммы			Расчётная сумма ЭПК и ДГК в корме, г/100 г	Расчётное соотношение ЛК и АЛК
	Рыбий жир	Рапсовое масло	Льняное масло		
КРФР 0.3 1/1	0	78	22	0,3	1:1
КРФР 0.3 1/2	0	43	57	0,3	1:2
КРФР 0.3 1/3	0	16	84	0,3	1:3
КРФР 1.2 1/1	20	62	18	1,2	1:1
КРФР 1.2 1/2	20	34	46	1,2	1:2
КРФР 1.2 1/3	20	10	70	1,2	1:3
КРФР РЖ	100	0	0	5,1	–

ства питательных веществ, накопленных организмом рыб, к количеству веществ, потреблённых из корма за определённый период времени [Щербина, Гамыгин, 2006]. В целях устранения возможного влияния различий в содержании влаги в исследуемых тканях рыб и комбикормах данный показатель определяли для ПНЖК при пересчёте на абсолютно сухое вещество корма и мышечной ткани по формуле:

$$\mathcal{E}_u = \frac{M_t \Pi_t - M_0 \Pi_0}{C_k}, \%,$$

где:  $M_0, M_t$  – средняя масса рыб в начале и конце эксперимента, г;  $\Pi_0, \Pi_t$  – содержание питательного вещества в мышечной ткани в начале и конце эксперимента, %;  $C_k$  – количество питательных веществ, съеденных одной рыбой за рассматриваемый период, г.

При исследовании химического состава комбикормов содержание влаги определяли при высушивании навески до постоянной массы в лабораторной электропечи SNOL 58/350 (Snol-Term) при температуре  $103 \pm 1$  °C. Содержание сырого протеина определяли по методу Кьельдаля с помощью автоматического анализатора Kjeltec™-8400 (Foss), содержание сырого жира – по методу Сокслета на автоматическом экстракторе SER 148/6 (VELP Scientifica) при использовании диэтилового эфира в качестве растворителя. Количество сырой золы находили путём сжигания образцов в муфельной печи СНОЛ 10/10 (Технотерм) при температуре  $550 \pm 2$  °C до постоянной массы и равномерного цвета. Содержание клетчатки в образцах устанавливали по методу промежуточной фильтрации с помощью автоматического анализатора клетчатки F22 Sonnen (Sonnen Automated Analysis). Сумму безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ) вычисляли расчётным путём.

Для проведения анализа химического состава мышечной ткани радужной форели по 5 рыб из каждой группы разделяли на филе, левую половину разрезали на куски шириной 5 см, отбирали по одному куску от приголовной, хвостовой части и из середины, измельчали в течение 3 минут на мясорубке Moulinex HV8 (мощность 1600Вт, диаметр отверстий решётки 3,0 мм). Полученный фарш замораживали и хранили при температуре  $-20$  °C до проведения исследований. Затем высушивали на вакуумной лиофильной сушилке VLP-4.

Анализ жирнокислотного спектра липидов мышечной ткани радужной форели и комбикормов проводили с использованием газовой хроматографии на приборе «Кристалл 5000.2» с пламенно-ионизационным детектором на капиллярной колонке CR-FAME 100 м × 0,25 мм × 0,2 мкм («Хроматэк»), газ-носитель – во-

дород. В качестве стандарта использована смесь метиловых эфиров Supelco 37 component FAME MIX (каталожный номер CRM47885, США). Обработку результатов анализа производили с использованием программного обеспечения Хроматэк Аналитик методом внутренней нормализации. Липиды из комбикормов предварительно экстрагировали хлороформом с последующей отгонкой на роторном испарителе Labtex ИР-1 ЛТ, липиды из предварительно лиофилизированной мышечной ткани форели выделяли диэтиловым эфиром на автоматическом экстракторе. Полученные общие липиды подвергали прямому метилированию в соответствии с ГОСТ 31665<sup>2</sup>.

Результаты представляли в виде средних значений и их стандартных ошибок ( $x \pm m_x$ ). Отличия исследованных показателей считались достоверными при  $p < 0,05$ . Обработку результатов проводили с использованием языка программирования «R» (вер. 4.3.3.) в среде разработки «RStudio» с применением дополнительных пакетов: «readxl» (вер. 1.3.1), «pheatmap» (вер. 1.0.12). Динамику изменения средних масс визуализировали и рассчитывали в программе «StatSoft statistica 10». Статистическую обработку данных осуществляли с помощью однофакторного дисперсионного анализа методом ANOVA.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе исследования был проведён детальный анализ фактической питательной ценности и жирнокислотного состава экспериментальных кормов. Установлено, что по содержанию основных питательных веществ корма всех вариантов имели между собой минимальные отличия (табл. 2). Среднее содержание сырого протеина для всех комбикормов составило 45,23%, сырого жира – 21,05%, сырой золы – 6,29%, сырой клетчатки – 1,86%, БЭВ – 20,75%. Высокая степень сходства в составе экспериментальных кормов, установленная по результатам химических исследований, явилась своеобразной гарантией отсутствия воздействия на организм рыб каких-либо иных факторов, за исключением исследуемых ПНЖК, получаемых рыбами из рыбьего жира и растительных масел.

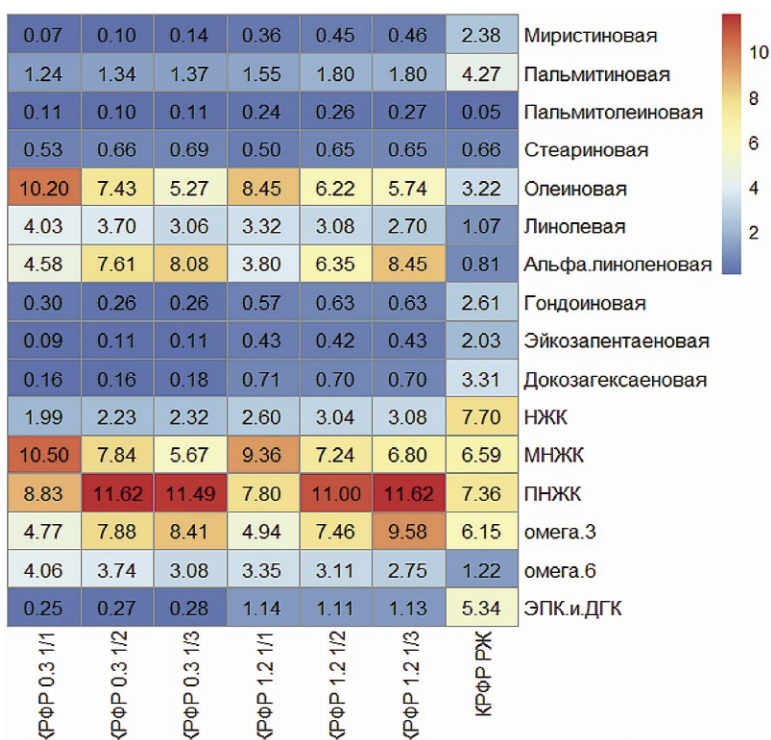
В то же время жирнокислотный состав экспериментальных кормов, представленный в виде тепловой карты на рис. 1, ожидаемо имел существенные различия между вариантами.

Анализ жирнокислотного состава липидов комбикормов свидетельствует о том, что фактические

<sup>2</sup> ГОСТ 31665-2012. Масла растительные и жиры животные. Получение метиловых эфиров жирных кислот. 2019. Введ. 01.01.2014. М.: Стандартинформ. 12 с.

**Таблица 2.** Питательная ценность и валовая энергия комбикормов с различным соотношением ПНЖК  
**Table 2.** Nutritional value and total energy of compound feed with different ratios of PUFA

Шифр группы	Содержание веществ, %						Валовая энергия, МДж/кг
	Влага	Сырой протеин	Сырой жир	Сырая зола	Клетчатка	БЭВ	
КРФР 0.3 1/1	4,94±0,11	45,20±0,24	21,39±0,32	5,90±0,07	1,46±0,02	21,17±0,25	22,8
КРФР 0.3 1/2	5,90±0,04	44,90±0,12	21,69±0,18	6,35±0,03	1,77±0,11	20,90±0,33	22,8
КРФР 0.3 1/3	5,38±0,23	46,32±0,19	20,48±0,28	6,35±0,15	2,16±0,06	20,52±0,19	22,8
КРФР 1.2 1/1	5,32±0,07	45,16±0,09	20,76±0,21	6,55±0,18	1,54±0,05	21,32±0,18	22,8
КРФР 1.2 1/2	6,20±0,09	44,88±0,17	21,00±0,08	6,14±0,05	2,20±0,01	19,98±0,26	22,8
КРФР 1.2 1/3	6,08±0,58	44,61±0,22	20,41±0,25	6,30±0,14	2,09±0,04	20,55±0,14	22,6
КРФР РЖ	4,49±0,85	45,57±0,15	21,65±0,11	6,46±0,06	1,82±0,13	20,81±0,23	22,8



**Рис. 1.** Жирнокислотный состав липидов комбикормов с различным соотношением ПНЖК, г/100г

**Fig. 1.** Fatty acid composition of diets with different ratios of PUFA, g/ 100 g

значения уровня ПНЖК и их соотношений соответствовали смоделированным расчётным величинам. В группе кормов с уровнем ЭПК+ДГК – 0,3 г /100г, содержание данных кислот составило 0,25-0,28 г /100 г, линолевой 3,06-4,03 г /100 г и альфа-линоленовой 4,58-8,08 г /100 г, что коррелирует с расчётными показателями. По мере увеличения в рецептурах доли рыбьего жира происходил рост количества ДЦ ПНЖК до 1,11-1,14 г /100 г в рецептах с расчётной суммой ЭПК и ДГК на уровне 1,2 г /100 г корма, достигая максимума 5,34 г в контрольном корме КРФР РЖ, не содержащем растительных масел. Путём правильного подбора соотношения растительных масел удалось достичь тре-

буемых соотношений ЛК и АЛК практически во всех кормах.

Оценка рыбоводно-биологических характеристик радужной форели, получавшей экспериментальные комбикорма, позволила выявить ряд различий, связанных с применением комбикормов с различными источниками липидов и соотношением ПНЖК. Динамика роста рыб в течение 150 суток наблюдений представлена в виде графика средних масс на рис. 2.

Исходные данные (0 сутки) демонстрировали статистически однородное распределение массы между группами со средними значениями 90,8-96,8 г, что исключало влияние исходных различий на интерпре-

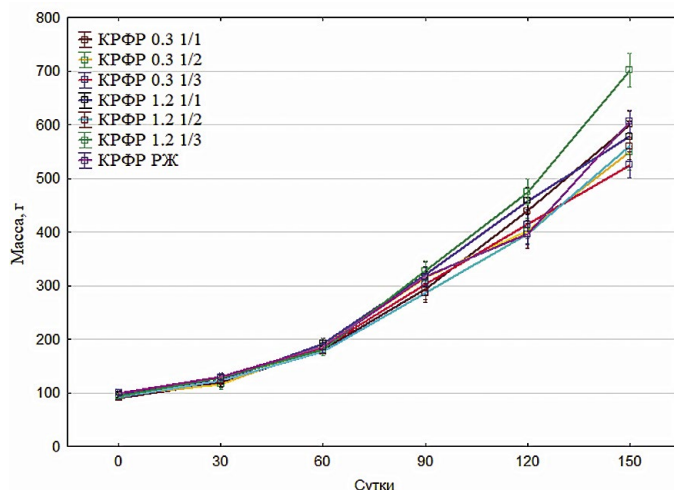


Рис. 2. Динамика изменения средней массы радужной форели при выращивании на комбикормах с различным соотношением ПНЖК, г

Fig. 2. Body weight dynamic of rainbow trout on diets with different ratios of PUFA, g

тацию результатов в течение 150-дневного опытного кормления.

К 30-м суткам эксперимента выявлена дифференциация темпов роста, коррелирующая с уровнем ДЦ ПНЖК в кормах. Группы, получавшие комбикорма с минимальной концентрацией ЭПК/ДГК (0,3 г/100 г), такие как КРФР 0.3 1/1 и КРФР 0.3 1/2, показали наименьший прирост массы их средняя масса равнялась 116-119 г соответственно. В то же время группы с повышенным содержанием ДЦ ПНЖК (1,2 г/100 г) – КРФР 1.2 1/3 и КРФР 1.2 1/1 – достигли средних значений 122-129 г. На этапе 60-90 суток зафиксирован рост массы у всех групп, однако динамика оставалась прежней.

Более полная характеристика весового роста, а также показатели выживаемости и затрат кормов для различных вариантов опыта представлены в табл. 3.

Анализ результатов показал, что замена рыбьего жира на различные количества растительных масел оказала определённое влияние на итоговые ростовые показатели. При повышении содержания ЭПК и ДГК с 0,3 до 1,2 г и постоянном соотношении в кормах ЛК и АЛК равном 1:3, было обнаружено увеличение средней конечной массы форели с 554,7 г на корме КРФР 0.3 1/3 до 698,2 г на корме КРФР 1.2 1/3. В указанной группе средняя конечная масса форели достоверно превышала аналогичные показатели всех остальных экспериментальных групп ( $p < 0,05$ ). Абсолютный прирост массы в этой группе достиг 606,8 г, а относительный прирост составил 649,9%, что также значительно выше, чем у других вариантов.

Форель, выращенная на корме КРФР 0.3 1/1 с минимальным уровнем ЭПК и ДГК отличалась сопоставимым темпом роста с группами рыб, получавшими комбикорма КРФР 1.2 1/1 и КРФР 1.2 1/2 в которых

Таблица 3. Рыбоводно-биологические показатели радужной форели при выращивании на комбикормах с различным соотношением ПНЖК

Table 3. Fish-breeding indicators of rainbow trout on diets with different ratios of PUFA

Шифр группы	Средняя начальная масса, г	Средняя конечная масса, г	Абсолютный прирост, г	Относительный прирост, %	Выживаемость, %	Кормовые затраты
КРФР 0.3 1/1 <sup>A</sup>	90,8±2,3	599,1±11,9 <sup>E</sup>	508,3	559,8	96,9	1,1
КРФР 0.3 1/2 <sup>B</sup>	94,5±2,1	542,8±17,3 <sup>E, Ж</sup>	448,3	469,1	98,7	1,3
КРФР 0.3 1/3 <sup>B</sup>	93,5±2,7	554,7±12,3 <sup>E</sup>	461,2	485,0	97,5	1,2
КРФР 1.2 1/1 <sup>Г</sup>	96,8±2,5	578,2±13,8 <sup>E</sup>	481,4	497,3	98,1	1,1
КРФР 1.2 1/2 <sup>Д</sup>	91,4±2,1	560,2±12,9 <sup>E</sup>	468,8	513,3	98,8	1,2
КРФР 1.2 1/3 <sup>E</sup>	93,3±2,3	698,2±15,6 <sup>A, Б, В, Г, Д, Ж</sup>	606,8	649,9	98,1	1,0
КРФР РЖ <sup>Ж</sup>	92,4±2,5	596,1±10,1 <sup>Б, Ж</sup>	503,7	545,3	96,1	1,1

Примечание: <sup>A, Б, В, Г, Д, E, Ж</sup> – Достоверность различий выборки средних масс в конце эксперимента между группами,  $p < 0,05$

содержалось 1,2 г суммарного количества ЭПК и ДГК. Несколько медленнее росли рыбы из групп КРФР 0.3 1/3, КРФР 1.2 1/2, их средняя конечная масса не достигла 600 г. Самые низкие значения ростовых показателей были у форели из группы КРФР 0.3 1/2. Контрольная группа, получавшая корм КРФР РЖ, содержащий только рыбий жир, продемонстрировала средние ростовые показатели, абсолютный прирост за 5 месяцев составил 503,7 г, конечная средняя масса контрольной группы составила 596,1 кг, что на 14,6% меньше, чем у лучшей по этому параметру группы КРФР 1.2 1/3, у которой средняя конечная масса была равна 698,2 г. Таким образом, увеличение содержания в корме ДЦ ПНЖК до 1,2/100 г за счёт комплексной масло-жировой смеси (70% льняного масла, 10% рапсового масла, 20% рыбьего жира), при применении свыше 120 суток стимулировало усиление темпа роста форели на 17% по сравнению с кормом, включающим только рыбий жир и до 40% по сравнению с другими вариантами опыта.

По окончании эксперимента отмечена высокая выживаемость во всех группах рыб, которая составила 96,1-98,8%. Кормовые затраты варьировали от 1,0 до 1,3, наименьшие значения отмечены в группах рыб, выращенных на комбикормах с уровнем ЭПК и ДГК более 0,3% и соотношением альфа-линоленовой кислоты к линолевой 1:3.

Результаты эксперимента подтверждают, что комбикорма с различными соотношениями и уровнем ПНЖК могут быть эффективны для выращивания форели в условиях индустриальной аквакультуры. Форель, выращенная на комбикормах с низким уровнем ДЦ ПНЖК (0,3 и 1,2 г), по ростовым показателям не уступала контрольной группе КРФР РЖ, а низкий показатель стандартной ошибки 10,1-17,3г свидетель-

ствует о равномерности выборки и однородности рыб в экспериментальных бассейнах.

Следующим этапом исследований была оценка влияния комбикормов с различным соотношением ПНЖК на химический состав мышечной ткани у рыб из разных вариантов опыта. В табл. 4 представлены данные, полученные по окончании периода наблюдений (150-е сутки опыта).

Результаты анализов показали, что количество белка в мышечной ткани форели во всех группах было высоким (19,34-20,87%) и не имело значимых различий. В отличие от белка, содержание жира не стабильно, однако разница между группами (6,37-7,02%) была недостоверной. Этот параметр имеет обратную связь с содержанием влаги и может немного варьировать между рыбами внутри одной группы.

Несмотря на отсутствие выраженных различий в химическом составе мышечной ткани форели, получавшей комбикорма с различным количеством ПНЖК растительного происхождения и ДЦ ПНЖК рыбьего жира, анализ состава жирных кислот мышечной ткани позволил выявить существенные различия между экспериментальными группами.

На рис. 3 представлена тепловая карта жирно-кислотного состава липидов форели, выращенной на комбикормах с различным содержанием рыбьего жира и растительных масел.

Анализ полученных данных выявил прямую связь между содержанием ПНЖК в кормах и мышцах форели, что отражает зависимость метаболических процессов от состава рациона. В частности, на кормах группы КРФР 0.3 в варианте с наименьшим количеством ДЦ ПНЖК (КРФР 0.3 1/1) липиды рыб содержали 0,28 г/100 г ЭПК и ДГК. По мере увеличения в кормах уровня АЛК, в липидах рыб наблюдалось после-

**Таблица 4.** Химический состав мышечной ткани радужной форели, выращенной на комбикормах с различным соотношением ПНЖК

**Table 4.** Chemical composition of rainbow trout muscle tissue on diets with different ratios of PUFA

Шифр группы	Содержание, %			
	Белок	Жир	Зола	Влага
До эксперимента	18,58±0,20	6,28±0,24	1,72±0,12	73,42±0,14
КРФР 0.3 1/1	19,35±0,11	6,93±0,17	1,57±0,22	71,65±0,23
КРФР 0.3 1/2	19,58±0,25	6,46±0,14	1,66±0,09	72,04±0,08
КРФР 0.3 1/3	20,85±0,17	6,56±0,09	1,33±0,10	72,65±0,15
КРФР 1.2 1/1	19,34±0,10	7,02±0,34	1,65±0,17	71,15±0,25
КРФР 1.2 1/2	20,05±0,24	6,85±0,12	1,39±0,24	72,65±0,08
КРФР 1.2 1/3	20,87±0,17	6,95±0,20	1,32±0,11	72,46±0,17
КРФР РЖ	19,39±0,25	6,37±0,28	1,46±0,09	71,82±0,07

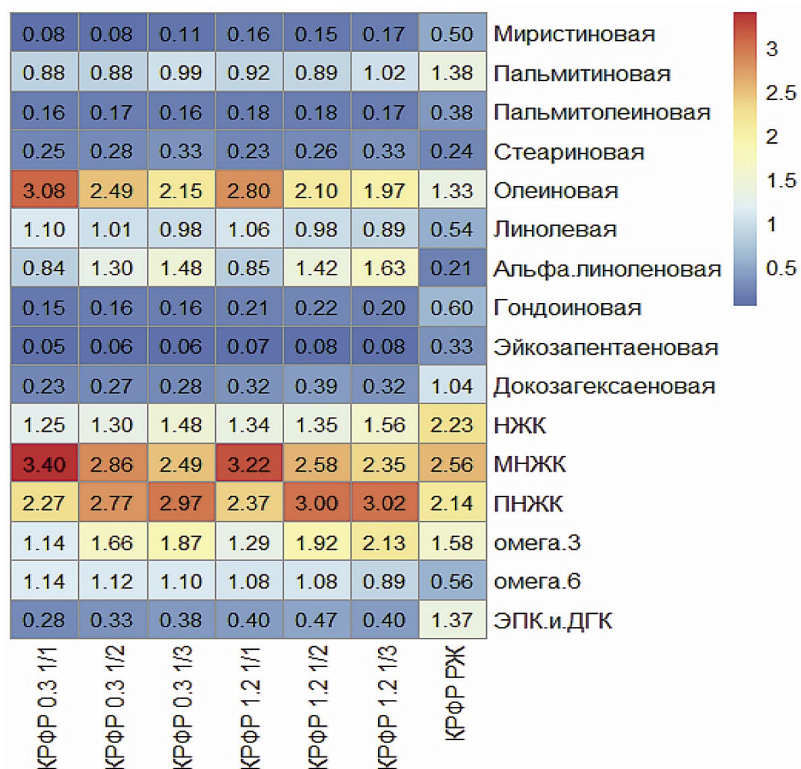


Рис. 3. Жирнокислотный состав липидов радужной форели, выращенной на комбикормах с различным соотношением ПНЖК, г/100 г

Fig 3. Fatty acid composition of rainbow trout on diets with different ratios of PUFA, g/100 g

довательное возрастание суммы ЭПК и ДГК. На корме КРФР 0.3 1/3 это значение выросло на 36%, составив 0,38 г/100 г. Увеличение содержания ЭПК и ДГК в кормах группы КРФР 1.2 сопровождалось возрастанием количества этих жирных кислот и в липидах форели (до 0,40-0,47 г/100 г). Интересно отметить, что у рыб, получавших корма группы КРФР 0.3, не включавших рыбий жир и характеризовавшихся минимальным уровнем ЭПК и ДГК при одновременном высоком содержании АЛК, количество высоконасыщенных жирных кислот (ЭПК и ДГК) в тканях было выше, чем в поедаемых ими кормах. Данный факт позволяет предположить наличие процессов, обеспечивающих интенсивное использование АЛК в качестве субстрата для её элонгации в длинноцепочечные ПНЖК при их дефиците в комбикормах. Увеличение суммы ЭПК и ДГК до 1,2 г в кормах группы КРФР 1.2 не привело к пропорциональному росту их содержания у рыб.

Соотношение жирных кислот омега-3 к омега-6 в липидах рыб было сходным с аналогичными показателями у соответствующих кормов, что нашло своё отражение и в данных других исследователей [Turchini, Francis, 2009; Tocher et al., 2019]. По сравнению с кормами, липиды рыб характеризовались меньшей вариабельностью соотношения этих жирных кис-

лот – от 1,2 до 5 раз в кормах против 1,2 до 2,8 раз у рыб. Можно предположить, что это обстоятельство связано с естественными ограничениями излишнего включения омега-3 жирных кислот в ткани рыб, необходимостью сохранения биологически оправданного соотношения омега-3 к омега-6 жирным кислотам, даже при наличии избытка каких-либо из них в получаемом рыбами корме. Это положение согласуется также с литературными данными, свидетельствующими о том, что биосинтез ДЦ ПНЖК у радужной форели ограничен низкой активностью  $\Delta 5$  и  $\Delta 6$ -десатураз, а также конкурентным ингибированием ферментов [Katan et al., 2020; Xie et al., 2021]. Подтверждением данного предположения может являться тот факт, что на фоне повышения содержания ПНЖК омега-3 ряда в корме (от 4,7 г/100 г на корме КРФР 0.3 1/1 до 9,58 на корме КРФР 1.2 1/3), различия по данному показателю между липидами питающихся ими рыб нивелируется.

Наибольшие значения в пользу омега-3 зафиксированы у группы КРФР РЖ, где корм содержал исключительно рыбий жир. В этом варианте сумма ЭПК+ДГК в рыбе достигла 1,37 г/100 г, обеспеченного за счёт трёхкратного увеличения расхода соответствующих жирных кислот корма. В этой связи необходимо под-

черкнуть, что оптимизация жирнокислотного состава кормов для форели должна учитывать не только абсолютное содержание в них ЭПК и ДГК, но и соотношение омега-3 и омега-6 кислот и его соблюдение в благоприятном диапазоне.

Корреляционный анализ полученных данных позволил подтвердить справедливость сделанных заключений. При проведении анализа использовали варьирование двух критических параметров – суммарного содержания в кормах ЭПК и ДГК (0,3 и 1,2 г/100 г корма) и соотношения в них ЛК к АЛК (1:1, 1:2, 1:3) (рис. 4).

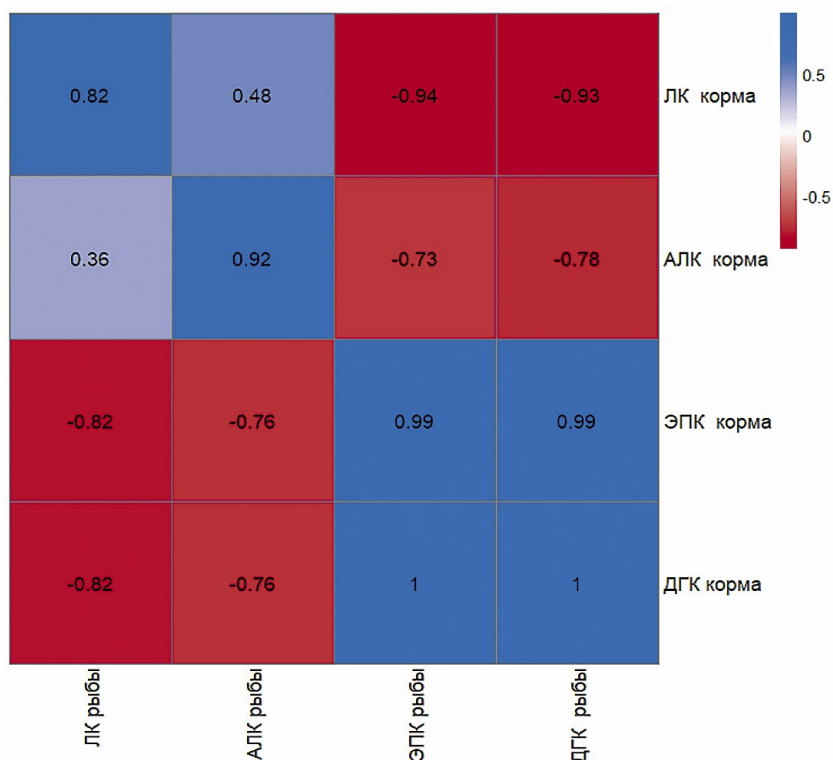
Расчёты показали выраженную положительную зависимость между содержанием ПНЖК в комбикорме и их уровнем в липидах мышечной ткани рыб. Это однозначно подтверждает, что увеличение доли ПНЖК в рационе приводит к повышению их накопления в мышцах форели, подчёркивая ключевую роль корма как основного источника этих соединений и доказательную возможность управления в условиях аквакультуры питательной ценностью филе рыб через составление рецептов.

Следует сказать, что в данном эксперименте при отсутствии в рационе рыбьего жира высокий уровень ДЦ ПНЖК наблюдали не только в мышцах, но и в пе-

чени [Биндюков и др., 2025], что также свидетельствует о возникновении у радужной форели в процессе выращивания адаптивных изменений, связанных с биосинтезом ПНЖК по пути Шпрехера, особенно при использовании корма КРФР 0.3 1/3 с минимальным уровнем рыбьего жира и высоким содержанием АЛК.

Известно, что у лососевых рыб гены элонгаз и десатураз активно экспрессируются в печени, поскольку ткани этого органа являются местом синтеза и распределения липидов [Monroig et al., 2022]. В тканях печени жирные кислоты используются для синтеза собственных структурных липидов, либо происходит распад и ресинтез липопротеинов, которые вновь поступают в кровь и разносятся по организму, где могут депонироваться в форме триглицеридов или использоваться для изменения состава липидов клеточных стенок [Turchini et al., 2022]. Таким образом, в печени фиксируются активные процессы липидного обмена, однако возможности и потребности организма в поддержании высокого уровня синтезированных жирных кислот нуждаются в уточнении.

Выполненный анализ выявил особенности липидного состава мышечной ткани форели, питавшейся кормами с различным составом и происхождением



**Рис. 4.** Матрица корреляций между ДЦ ПНЖК и субстратами в виде ЛК и АЛК в комбикормах и выращенной рыбе в конце эксперимента

**Fig 4.** Correlation between LC-PUFA and LA and ALA substrates in feed and farmed fish at the end of the experiment

липидов, на момент окончания опыта, что, однако, не позволяет получить представление о динамике метаболических процессов. Для получения детальной картины роли предшественников ДЦ ПНЖК в обмене веществ у радужной форели проведён расчёт коэффициентов эффективности ассимиляции в её мышечной ткани ключевых жирных кислот, содержащихся в комбикормах в различных соотношениях. При расчёте ассимиляции были учтены изменения массы рыб и содержания в их липидах жирных кислот за период опыта, а также общее количество жирных кислот, полученных рыбами из липидов корма за весь период исследования. Результаты представлены на рис. 5.

На диаграмме 5 а видно, что у рыб, получавших корма без рыбьего жира, дефицитные по сумме ЭПК и ДГК, но содержавшие большое количество АЛК (корма серии КРФР 0.3), уровень накопления АЛК на протяжении всего опыта был ниже по сравнению с другими вариантами. Можно предположить, что форель активно использовала имевшуюся в избытке в кормах АЛК в биосинтетических процессах. Различные соотношения между ЛК и АЛК не продемонстрировали заметных сдвигов в ассимиляции жирных кислот, ко-

торая незначительно изменялась в динамике. Однако, при включении в комбикорм 20% рыбьего жира интенсивность накопления АЛК возросла в 1,5-2,5 раза. По рис. 5 можно видеть, что в процессе кормления опытными кормами рыбы в целом понижали ретенцию АЛК: например, в группе КРФР 0.3 в среднем от 26 до 22%, в то время как контрольная группа (КРФР РЖ) показала резкое снижение с 52,5% (30 суток) до 32,5% (150 суток), что может быть связано как с адаптацией к корму, так и с изменением метаболизма в процессе роста рыб. Таким образом, избыток содержания в корме АЛК, на фоне пониженного содержания в нем суммы ЭПК и ДГК, сопровождается относительно низким накоплением этой кислоты в тканях форели. Напротив, при относительно невысоком содержании в корме АЛК и более высоком уровне ДЦ ПНЖК у организма рыб появлялась возможность более интенсивного депонирования альфа-линоленовой кислоты.

Аналогичную картину (рис. 5 в) можно увидеть при анализе динамики ассимиляции форелью ЛК. Питание рыб кормами дефицитными по ЭПК и ДГК (та же группа КРФР 0.3), сопровождалось накоплением ЛК в ходе

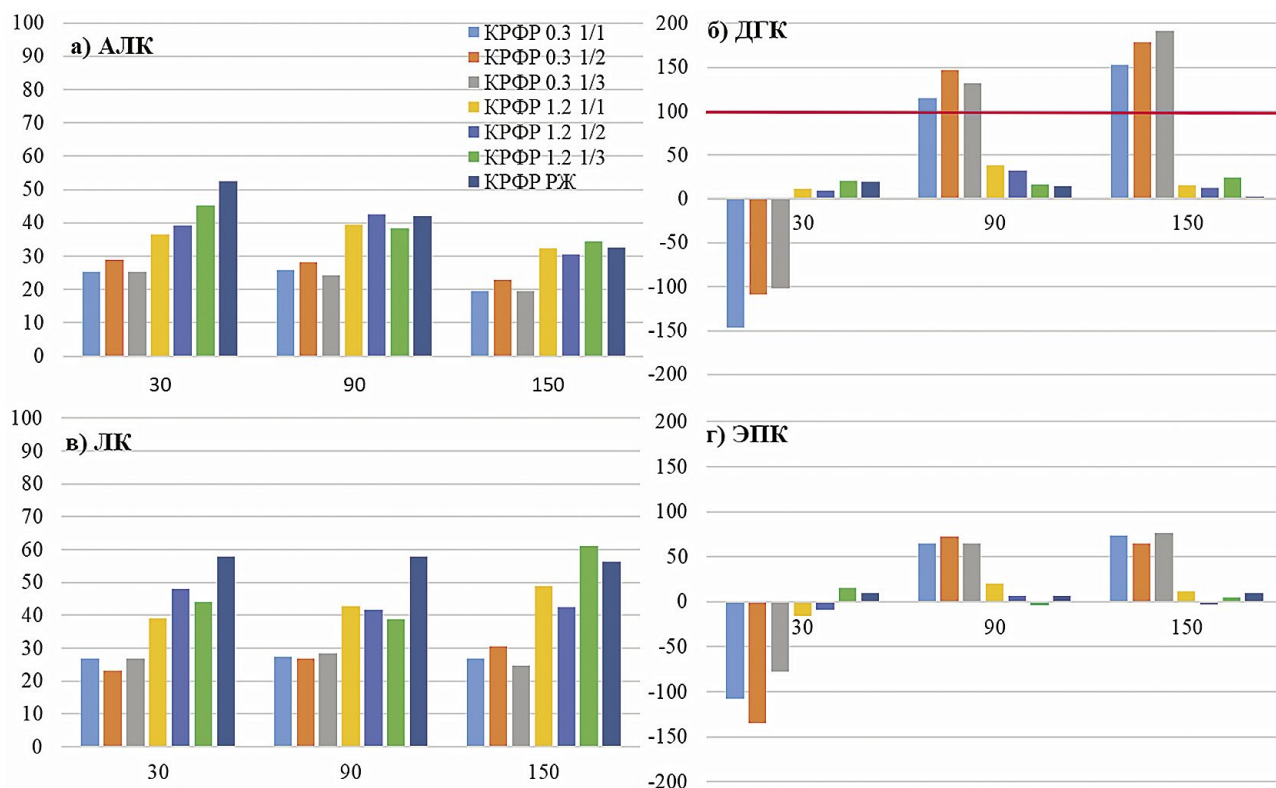


Рис. 5. Динамика ассимиляции отдельных жирных кислот в мышечной ткани форели при питании в течение 150 суток комбикормами с различным соотношением ПНЖК, %: а) альфа-линоленовая (АЛК); б) докозагексаеновая (ДГК); в) линолевая (ЛК); г) эйкозапентаеновая (ЭПК)

Fig 5. Assimilation of fatty acids in the muscle tissue of trout on diets with different ratios of PUFAs for 150 days, %: a) alpha-linoleic; б) docosahexaenoic в) linoleic; г) eicosapentaenoic

опыта на уровне 23,2-30,4%. При повышении содержания ДЦ ПНЖК в корме (группа КРФР 1.2) ассимиляция ЛК возросла до 40-48%. Вероятно, это связано с тем, что ДЦ ПНЖК, которых в этой группе комбикормов больше в 4 раза чем в группе КРФР 0.3, энергетически приоритетны в цикле  $\beta$ -окисления, а ЛК в качестве освободившегося субстрата участвует в депонировании. Наиболее стабильные и высокие значения ассимиляции ЛК (около 60%), были отмечены в контрольном варианте. Таким образом, при повышенном суммарном содержании ЭПК и ДГК, избыток ЛК нарушает метаболический баланс и активирует процессы накопления омега-6 кислот.

Анализ ассимиляции эйкозапентаеновой и докозагексаеновой кислот в разных вариантах опыта, позволил увидеть другую сторону метаболизма жирных кислот в организме форели. Метаболизм ДГК (рис. 5 б), начался с катаболического распада этой кислоты в группах КРФР 0.3 в первый месяц эксперимента (до -146,5%). При этом чем выше было содержание АЛК в корме, тем менее выражен был катаболизм ДГК у рыб. Последующий рост ассимиляции ДГК до 191,0% к 150-м суткам опыта в варианте КРФР 0.3 1/3 демонстрировал активизацию биосинтетического пути её накопления на фоне долгосрочного ограничения содержания ЭПК и ДГК в корме. Полученные значения ассимиляции, превышающие 100% (обозначено на рис. 5 б красной линией), свидетельствуют о том, что рыбы смогли накопить в своём организме больше ДГК, чем суммарно получили из съеденного корма. Следует отметить, что в группах рыб, питавшихся кормами с высоким содержанием ДЦ ПНЖК, ассимиляция ДГК была менее интенсивной и не превышала 38,2%, а в контрольном корме составила только 3,0-6,0%. Этот факт может быть рассмотрен в свете концепции ингибирования, в соответствии с которой, избыток экзогенной ДГК подавляет активность элонгаз и десатураз [Gregory et al., 2016; Torres et al., 2020].

Расчёт накопления в мышечной ткани в процессе метаболизма рыб ЭПК, являющейся предшественником ДГК в цикле удлинения жирных кислот, показывает схожую картину (рис. 5 г). В первый месяц кормления большинство опытных групп демонстрировали отрицательную ассимиляцию ЭПК достигая -134,7% на корме КРФР 0.3 1/2, что подтверждает роль ДЦ ПНЖК как энергетического субстрата, мобилизуемого в случае изменения кормовой базы [Yu et al., 2022]. Это может быть связано с адаптацией к новому липидному составу корма, когда организм перераспределяет запасы жирных кислот для поддержания энергетического баланса и структуры клеточных мембран в соответствии с особенностями условий оби-

тания и питания. В процессе выращивания у форели из групп КРФР 0.3 ассимиляция ЭПК превысила 50%, в то время как у других опытных и контрольной группы накопление ЭПК было весьма низким (до 20%) либо не происходило совсем.

Таким образом, можно утверждать, что у радужной форели действуют адаптационные механизмы элонгации и десатурации, запускающие биосинтез ЭПК и ДГК при их недостатке в кормах в условиях избытка АЛК, являющейся предшественником указанных жирных кислот. Следует отметить, что согласно полученным в результате опытов данным, адаптация форели к кормам, характеризующимся недостатком ЭПК и ДГК занимает более 30 суток, что свидетельствует о перестройки обменных процессов в организме форели в направлении синтеза ДЦ ПНЖК (при наличии в корме необходимого количества АЛК), с последующим увеличением интенсивности биосинтетических процессов к 150-м суткам выращивания.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Выполненные исследования показали, что частичная или полная замена рыбьего жира в комбикормах для радужной форели на липиды растительного происхождения не оказывает существенного влияния на ростовые показатели, выживаемость и химический состав мышечной ткани радужной форели при длительном выращивании.

Показано, что при минимальном уровне ЭПК и ДГК в рационе (0,3 г/100 г) форель активирует метаболические пути элонгации и десатурации, с помощью которых способна синтезировать больше ДЦ ПНЖК, чем получает из корма. Но в этом случае рыбы способны обеспечивать себя только базовым уровнем этих жирных кислот без их накопления. Для существенного накопления ДЦ ПНЖК в мышечной ткани необходим их минимальный порог в корме ( $\geq 1,2$  г/100 г). Наибольшая эффективность роста достигнута в группе КРФР 1.2 1/3: абсолютный прирост массы составил 606,8 г, а кормовые затраты были минимальными (1,0), что подчёркивает экономическую целесообразность замены рыбьего жира определёнными видами растительных масел.

В практическом плане полученные результаты имеют высокую готовность к внедрению в комбикормовую промышленность и доказывают возможность замены в комбикормах для радужной форели до 80% рыбьего жира на рапсовое и льняное масла без ущерба для рыбопродуктивности. Основным условием получения продукции высокого пищевого качества, соответствующей потребностям человека в ЭПК и ДГК, является корректный подбор соотношения липидных

составляющих комбикормов, в том числе содержания омега-3 и омега-6 жирных кислот и продолжительности применения таких кормов с учётом необходимого периода метаболической адаптации организма форели. Дальнейшие исследования будут направлены на использование изученных механизмов регулирования липидного обмена для решения более широкого круга задач в аквакультуре.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы были соблюдены.

### Финансирование

Работа выполнена в рамках Государственного задания Росрыболовства № 076-00005-25-00.

### ЛИТЕРАТУРА

- Александрова М.А. 2021. Перспективы товарного выращивания лососевых на Европейском Севере России // Труды ВНИРО. Т. 185. С. 120-133. DOI: 10.36038/2307-3497-2021-185-120-133.
- Барулин Н.В., Лиман М.С., Новикова Е.Г., Шумский К.Л., Атрощенко Л.О., Роговцов С.В., Плавский В.Ю. 2016. Рекомендации по выращиванию рыбопосадочного материала радужной форели в рыбоводных промышленных комплексах (с временными нормативами). Горки: БГСХА. 180 с.
- Биндюков С.В., Баскакова Ю.А., Гершунская В.В. 2025. Биосинтез жирных кислот в тканях радужной форели *Oncorhynchus mykiss* при выращивании на комбикормах с растительными маслами // Тез. докл. Всерос. научн. конф. с межд. участием и школа для молодых учёных, 8-12 сентября 2025 года «Липиды 2025». Петрозаводск: КарНЦ РАН. С. 34-35.
- Биндюков С.В., Бурлаченко И.В., Баскакова Ю.А., Артемов Р.В., Арнаутов М.В., Новоселова Ю.А., Гершунская В.В. 2022. Опыт замены рыбьего жира растительными маслами в комбикормах для радужной форели // Труды ВНИРО. Т. 187. С. 138-148. DOI: 10.36038/2307-3497-2022-187-138-148.
- Бурлаченко И.В., Яхонтова И.В., Баранова В.В. 2024. О применении принципов наилучших практик в российской аквакультуре // Труды ВНИРО. Т. 198. С. 64-74. DOI 10.36038/2307-3497-2024-198-64-74
- Васильева О.Б., Назарова М.А., Немова Н.Н. 2023. Ассимиляция экзогенных жирных кислот в тканях радужной форели *Parasalmo mykiss* (Walbaum, 1792) в аквакультуре // Вестник Астраханского ГТУ. Сер.: Рыбное хозяйство. № 1. С. 98-104. DOI: 10.24143/2073-5529-2023-1-98-104
- Гладышев М.И. 2021. Наземные источники полиненасыщенных жирных кислот для аквакультуры // Вопросы ихтиологии. Т. 61. № 4. С. 471-485. DOI: 10.31857/S0042875221030048
- Гладышев М.И. 2012. Незаменимые полиненасыщенные жирные кислоты и их пищевые источники для человека // Журнал СФУ. Сер.: Биология. Т. 5. № 4. С. 352-386.
- Правдин И.Ф. 1966. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). М.: Пищевая промышленность. 374 с.
- ФАО. 2024. Состояние мирового рыболовства и аквакультуры – 2024. «Голубая трансформация» в действии. Рим: ФАО. 232 с. DOI: 10.4060/cd0683ru
- Фокина Н.Н., Лысенко Л.А., Руоколайнен Т.Р., Суховская И.В., Канцерова Н.П., Немова Н.Н. 2020. Зависимость содержания липидов и ненасыщенных жирных кислот в скелетных мышцах радужной форели от условий выращивания и физиологического состояния рыб // Прикладная биохимия и микробиология. Т. 56, № 3. С. 305-312. DOI 10.31857/S0555109920030034
- Хуртина С.Н., Мурзина С.А., Кузнецова М.В., Немова Н.Н. 2024. Влияние разных режимов освещения и кормления на экспрессию генов *fadsd5*, *fadsd6*, *elovl2*, *elovl5a* десатураз и элонгаз в печени молоди атлантического лосося *Salmo salar* L. в условиях аквакультуры // Известия РАН. Сер. биологическая. № 6. С. 695-704. DOI: 10.31857/S1026347024060024.
- Щербина М.А., Гамыгин Е.А. 2006. Кормление рыб в пресноводной аквакультуре. М.: Изд-во ВНИРО. 360 с.
- Glencross B.D., Bachis E., Betancor M.B., Calder P., Liland N., Newton R., Ruyter B. 2024. Omega-3 Futures in Aquaculture: Exploring the Supply and Demands for Long-Chain Omega-3 Essential Fatty Acids by Aquaculture Species // Reviews in Fisheries Science & Aquaculture. 1-50. DOI: 10.1080/23308249.2024.2388563
- Gregory M.K., Collins R.O., Tocher D.R., James M.J., Turchini G.M. 2016. Nutritional regulation of long-chain PUFA biosynthetic genes in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // British Journal of Nutrition. V. 115(10):1721-1729. DOI:10.1017/S0007114516000830
- Kajbaf K., Overturf K., Cleveland B., Kumar V. 2025. Regulation of the  $\omega$ -3 fatty acid biosynthetic pathway and fatty acids bioconversion capacity in selected rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) using alternative dietary oils // Animal Feed Science and Technology. V. 320: 116219. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2025.116219
- Katan T., Xue X., Caballero-Solares A., Taylor R.G., Rise M.L., Parrish C.C. 2020. Influence of Dietary Long-Chain Polyunsaturated Fatty Acids and  $\omega$ 6 to  $\omega$ 3 Ratios on Head Kidney Lipid Composition and Expression of Fatty Acid and Eicosanoid Metabolism Genes in Atlantic Salmon (*Salmo salar*) // Frontiers in Molecular Biosciences. V. 7. P. 602587. DOI: 10.3389/fmolb.2020.602587
- Utfi E., Berge G.M., Bæverfjord G., Sigholt T., Bou M., Larsson T. et al. 2023. Increasing dietary levels of the n-3 long-chain PUFA, EPA and DHA, improves the growth, welfare, robustness and fillet quality of Atlantic salmon in sea

- cages // *British Journal of Nutrition*. V. 129. P. 10-28. DOI: 10.1017/S0007114522000642
- Monroig O., Shu-Chien A.C., Kabeya N., Tocher D.R., Castro L.F.C. 2022. Desaturases and elongases involved in long-chain polyunsaturated fatty acid biosynthesis in aquatic animals: From genes to functions // *Progress in lipid research*. V. 86. 101157. DOI: 10.1016/j.plipres.2022.101157
- Rasmussen R.S. 2001. Quality of farmed salmonids with emphasis on proximate composition, yield and sensory characteristics // *Aquaculture Research*. V. 32. 767-786. DOI: 10.1046/j.1365-2109.2001.00617.x
- Thanuthong T., Francis D.S., Senadheera S.P.S.D., Jones P.L., Turchini G.M. 2011. LC-PUFA Biosynthesis in Rainbow Trout is Substrate Limited: Use of the Whole Body Fatty Acid Balance Method and Different 18:3n-3/18:2n-6 Ratios // *Lipids*. V. 46. P. 1111-1127. DOI: 10.1007/s11745-011-3607-4
- Tocher D.R., Betancor M.B., Sprague M., Olsen R.E., Napier J.A. 2019. Omega-3 Long-Chain Polyunsaturated Fatty Acids, EPA and DHA: Bridging the Gap between Supply and Demand // *Nutrients*. V. 11 (1): 89. DOI: 10.3390/nu11010089
- Torres M., Navarro J.C., Varó I., Monroig Ó., Hontoria F. 2020. Nutritional regulation of genes responsible for long-chain (C20-24) and very long-chain (>C24) polyunsaturated fatty acid biosynthesis in post-larvae of gilthead seabream (*Sparus aurata*) and Senegalese sole (*Solea senegalensis*) // *Aquaculture*. V. 525. P. 735314. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.735314
- Turchini G.M., Francis D.S. 2009. Fatty acid metabolism (desaturation, elongation and  $\beta$ -oxidation) in rainbow trout fed fish oil- or linseed oil-based diets // *British Journal of Nutrition*. V. 102 (1). P. 69-81. DOI: 10.1017/S0007114508137874
- Turchini G.M., Francis D.S., Keast R.S.J., Sinclair A.J. 2011. Transforming salmonid aquaculture from a consumer to a producer of long chain omega-3 fatty acids // *Food Chem*. V. 124. P. 609-614. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.06.083
- Turchini G.M., Francis D.S., Du Z.Y., Olsen R.E., Ringø E., Tocher D.R. 2022. The Lipids // *Fish Nutrition*. Chapt. 5. Academic Press, P. 303-467. DOI: 10.1016/B978-0-12-819587-1.00003-3
- Xie D., Chen C., Dong Y., You C., Wang S., Monroig O., Tocher D.R., Li Y. 2021. Regulation of long-chain polyunsaturated fatty acid biosynthesis in teleost fish // *Progress in Lipid Research*. V. 82. P. 101095. DOI: 10.1016/j.plipres.2021.101095
- Yu H.-R., Li L.-Y., Xu C.-M., Li M., Li F.-H., Guo M.-J., Qiu X.-Y., Shan L.-L. 2022. Effect of dietary eicosapentaenoic acid (20:5n-3) on growth performance, fatty acid profile and lipid metabolism in coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) alevins // *Aquaculture Reports*. V. 23: 101084. DOI: 10.1016/j.aqrep.2022.101084
- V. 185. P. 120-133. DOI: 10.36038/2307-3497-2021-185-120-133. (In Russ.).
- Barulin N. V., Liman M. S., Novikova E. G., Shumsky K. L., Atroschenko L. O., Rogovtsov S. V., Plavsky V. Yu. 2016. Recommendations for the cultivation of rainbow trout hatchery material in fish-breeding industrial complexes (with temporary standards). Gorki: BHSA. 180 p. (In Russ.).
- Bindukov S.V., Baskakova Yu.A., Gershunskaya V.V. 2025. Fatty acid biosynthesis in tissues of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* reared on plant oil feeds // *Lipids 2025: All-Russ. Conf. with Intern. Participation and School for Young Scientists*, September 8-12, 2025. Book of abstracts. Petrozavodsk: KarelRCof the RAS. P. 34-35. (In Russ.).
- Bindukov S.V., Burlachenko I.V., Baskakova Yu.A., Artemov R.V., Arnautov M.A., Novoselova Yu.A., Gershunskaya V.V. 2022. Fish oil replacement with vegetable oils in compound feeds for rainbow trout // *Trudy VNIRO*. V. 187. P. 138-148. DOI: 10.36038/2307-3497-2022-187-138-148. (In Russ.).
- Burlachenko I.V., Yakhontova I.V., Barinova V.V. 2024. On the application of the principles of the best aquaculture practices in Russian aquaculture // *Trudy VNIRO*. V. 198. P. 64-74. DOI: 10.36038/2307-3497-2024-198-64-74 (In Russ.).
- Vasil'eva O.B., Nazarova M.A., Nemova N.N. 2023. Assimilation of exogenous fatty acids in tissues of rainbow trout *Parasalmo mykiss* (Walbaum, 1792) in aquaculture // *Vestnik of Astrakhan STU. Series: Fishing Industry*. N. 1. P. 98-104. DOI: 10.24143/2073-5529-2023-1-98-104 (In Russ.).
- Gladyshev M.I. 2021. Terrestrial sources of polyunsaturated fatty acids for aquaculture // *Journal of Ichthyology*. V. 61. № 4. P. 632-645. (In Russ.).
- Gladyshev M.I. 2012. Essential Polyunsaturated Fatty Acids and their Dietary Sources for Man // *Journal of Siberian Federal University. Biology*. V. 5. N. 4. P. 352-386. (In Russ.).
- Pravdin I.F. 1966. Manual for fish study. Moscow: Pishchevaya Promyshlennost'. 374 p. (in Russ.).
- FAO. 2024. The State of World Fisheries and Aquaculture. «Blue Transformation» in action. Rome: FAO. 232 p. DOI: 10.4060/cd0683ru (In Russ.).
- Fokina N.N., Lysenko L.A., Ruokolainen T.R., Sukhovskaya I.V., Kantserova N.P., Nemova N.N. Dependence of the lipid and unsaturated fatty-acid compositions in rainbow-trout skeletal muscle on the rearing conditions and physiological status of fish// *Applied Biochemistry and Microbiology*. V. 56, N 3. P. 305-312. DOI: 10.31857/S0555109920030034 (In Russ.).
- Khurtina S.N., Murzina S.A., Kuznetsova M.V., Nemova N.N. 2024. Influence of different lighting and feeding regimes on the expression of the *fadsd5*, *fadsd6*, *elovl2*, *elovl5a* desaturase and elongase genes in the liver of juvenile Atlantic Salmon *Salmo salar* L. under aquaculture conditions// *Proceedings of the RAS. Biological series*. N. P. C. 695-704. DOI: 10.31857/S1026347024060024. (In Russ.).
- Shcherbina M.A., Gamygin E.A. 2006. Fish feeding in freshwater aquaculture Moscow: VNIRO Publish. 360 p. (In Russ.).

## REFERENCES

Aleksandrova M.A. 2021. Prospects for commercial salmon farming in the European North of Russia // *Trudy VNIRO*.

- Glencross B.D., Bachis E., Betancor M.B., Calder P., Liland N., Newton R., Ruyter B. 2024. Omega-3 Futures in Aquaculture: Exploring the Supply and Demands for Long-Chain Omega-3 Essential Fatty Acids by Aquaculture Species // Reviews in Fisheries Science & Aquaculture. 1-50. DOI: 10.1080/23308249.2024.2388563
- Gregory M.K., Collins R.O., Tocher D.R., James M.J., Turchini G.M. 2016. Nutritional regulation of long-chain PUFA biosynthetic genes in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // British Journal of Nutrition. V. 115(10):1721-1729. DOI:10.1017/S0007114516000830
- Kajbaf K., Overturf K., Cleveland B., Kumar V. 2025. Regulation of the  $\omega$ -3 fatty acid biosynthetic pathway and fatty acids bioconversion capacity in selected rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) using alternative dietary oils // Animal Feed Science and Technology. V. 320: 116219. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2025.116219
- Katan T., Xue X., Caballero-Solares A., Taylor R.G., Rise M.L., Parrish C.C. 2020. Influence of Dietary Long-Chain Polyunsaturated Fatty Acids and  $\omega$ 6 to  $\omega$ 3 Ratios on Head Kidney Lipid Composition and Expression of Fatty Acid and Eicosanoid Metabolism Genes in Atlantic Salmon (*Salmo salar*) // Frontiers in Molecular Biosciences. V. 7. P. 602587. DOI: 10.3389/fmolb.2020.602587
- Lutfi E., Berge G.M., Bæverfjord G., Sigholt T., Bou M., Larsson T. et al. 2023. Increasing dietary levels of the n-3 long-chain PUFA, EPA and DHA, improves the growth, welfare, robustness and fillet quality of Atlantic salmon in sea cages // British Journal of Nutrition. V. 129. P. 10-28. DOI: 10.1017/S0007114522000642
- Monroig O., Shu-Chien A.C., Kabeya N., Tocher D.R., Castro L.F.C. 2022. Desaturases and elongases involved in long-chain polyunsaturated fatty acid biosynthesis in aquatic animals: From genes to functions // Progress in lipid research. V. 86. 101157. DOI: 10.1016/j.plipres.2022.101157
- Rasmussen R.S. 2001. Quality of farmed salmonids with emphasis on proximate composition, yield and sensory characteristics // Aquaculture Research. V. 32. 767-786. DOI: 10.1046/j.1365-2109.2001.00617.x
- Thanuthong T., Francis D.S., Senadheera S.P.S.D., Jones P.L., Turchini G.M. 2011. LC-PUFA Biosynthesis in Rainbow Trout is Substrate Limited: Use of the Whole Body Fatty Acid Balance Method and Different 18:3n-3/18:2n-6 Ratios // Lipids. V. 46. P. 1111-1127. DOI: 10.1007/s11745-011-3607-4
- Tocher D.R., Betancor M.B., Sprague M., Olsen R.E., Napier J.A. 2019. Omega-3 Long-Chain Polyunsaturated Fatty Acids, EPA and DHA: Bridging the Gap between Supply and Demand // Nutrients. V. 11 (1): 89. DOI: 10.3390/nu11010089
- Torres M., Navarro J.C., Varó I., Monroig Ó., Hontoria F. 2020. Nutritional regulation of genes responsible for long-chain (C20-24) and very long-chain (>C24) polyunsaturated fatty acid biosynthesis in post-larvae of gilthead seabream (*Sparus aurata*) and Senegalese sole (*Solea senegalensis*) // Aquaculture. V. 525. P. 735314. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.735314
- Turchini G.M., Francis D.S. 2009. Fatty acid metabolism (desaturation, elongation and  $\beta$ -oxidation) in rainbow trout fed fish oil- or linseed oil-based diets // British Journal of Nutrition. V. 102 (1). P. 69-81. DOI: 10.1017/S0007114508137874
- Turchini G.M., Francis D.S., Keast R.S.J., Sinclair A.J. 2011. Transforming salmonid aquaculture from a consumer to a producer of long chain omega-3 fatty acids // Food Chem. V. 124. P. 609-614. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.06.083
- Turchini G.M., Francis D.S., Du Z.Y., Olsen R.E., Ringø E., Tocher D.R. 2022. The Lipids // Fish Nutrition. Chapt. 5. Academic Press, P. 303-467. DOI: 10.1016/B978-0-12-819587-1.00003-3
- Xie D., Chen C., Dong Y., You C., Wang S., Monroig O., Tocher D.R., Li Y. 2021. Regulation of long-chain polyunsaturated fatty acid biosynthesis in teleost fish // Progress in Lipid Research. V. 82. P. 101095. DOI: 10.1016/j.plipres.2021.101095
- Yu H.-R., Li L.-Y., Xu C.-M., Li M., Li F.-H., Guo M.-J., Qiu X.-Y., Shan L.-L. 2022. Effect of dietary eicosapentaenoic acid (20:5n-3) on growth performance, fatty acid profile and lipid metabolism in coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) alevins // Aquaculture Reports. V. 23: 101084. DOI: 10.1016/j.aqrep.2022.101084

Поступила в редакцию 27.07.2025 г.  
Принята после рецензии 18.09.2025 г.



УДК 551.46.09 (268.45)

## Среда обитания водных биологических ресурсов

# Влияние показателей климато-океанологических процессов на параметры состояния запаса трески в Баренцевом море и прилегающих водах

А.Г. Трофимов, Е.В. Сентябов, Н.А. Ярагина, Ю.А. Ковалев, В.А. Ившин, М.Ю. Анциферов

Полярный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н.М. Книповича), ул. Академика Книповича, 6, Мурманск, 183038, Россия

E-mail: sentyab@pinro.vniro.ru

SPIN-код: А.Г. Трофимов – 6762-9699; Е.В. Сентябов – 7620-8430; Н.А. Ярагина – 9026-3827; Ю.А. Ковалёв – 7984-4910; В.А. Ившин – 3102-7538; М.Ю. Анциферов – 4303-6593

**Цель работы:** оценка влияния крупномасштабных климато-океанологических процессов на численность пополнения и массу трески в возрасте 3 года в Баренцевом море и прилегающих водах.

**Материал:** океанологические данные, собранные в ходе экспедиций Полярного филиала ВНИРО, и другая доступная информация о гидрометеорологических условиях Баренцева моря и прилегающих районов, а также данные о биомассе нерестового запаса трески, численности её пополнения и средней массе рыб в возрасте 3 года за 1981-2023 гг.

**Методы:** сравнительный анализ данных, методы описательной статистики, корреляционный и регрессионный анализы.

**Результаты:** выполнен анализ условий формирования запаса северо-восточной арктической трески в Баренцевом море. Для оценки влияния изменений климата на состояние запаса в качестве его параметров выбраны численность пополнения и средняя масса рыб в возрасте 3 года. В качестве климатических факторов использованы зимний индекс Северо-Атлантического колебания, температура атлантических вод на разрезах «Гимсёй» и «Кольский меридиан», средняя по площади Баренцева моря (71-79° с. ш., 25-55° в. д.) температура на горизонте 100 м и индекс протяжённости термических фронтальных зон в Баренцевом море. Для выбранных параметров запаса построены надёжные и адекватные уравнения регрессии, включающие в себя температуру атлантических вод и индекс протяжённости фронтальных зон в Баренцевом море, биомассу нерестового запаса трески и среднюю за два предыдущих года численность её пополнения в возрасте 3 года, которые позволяют составлять прогнозы с заблаговременностью до одного года.

**Практическая значимость:** полученные результаты позволят лучше понимать процессы, происходящие в экосистеме Баренцева моря, и будут использованы для оценки влияния изменений климата и океанологических условий на состояние запаса трески в Баренцевом море и для прогноза численности её пополнения и средней массы рыб в возрасте 3 года.

**Ключевые слова:** Баренцево море, климат, океанологические условия, северо-восточная арктическая треска, нерестовый запас, пополнение, масса рыб.

## The influence of climate-oceanological processes on parameters of the state of cod stock in the Barents Sea and adjacent waters

Alexander G. Trofimov, Evgeniy V. Sentyabov, Natalia A. Yaragina, Yury A. Kovalev, Viktor A. Ivshin, Mikhail Yu. Antsiferov

Polar branch of «VNIRO» (N.M. Knipovich «PINRO»), 6, Academician Knipovich St., Murmansk, 183038, Russia

**The aim** of the paper is to assess the influence of large-scale climatic and oceanographic processes on recruitment abundance and mean weight of cod at age 3 in the Barents Sea and adjacent waters.

**The material** for the study was oceanographic data collected by Polar Branch of VNIRO and other available information on the hydrometeorological conditions of the Barents Sea and adjacent areas as well as data on the biomass of the cod spawning stock, the number of its recruits and the mean weight of fish at age 3 for 1981-2023.

**Methods** of descriptive statistics as well as comparative, correlation and regression analyses were applied.

**Results:** The analysis of the conditions for forming the Northeast Arctic (NEA) cod stock in the Barents Sea was carried out. To assess the impact of climate changes on state of the stock, the number of recruits and the mean weight of fish at age 3 were chosen as its parameters. The following climatic factors were used: the winter North Atlantic Oscillation index, the Atlantic water temperature in the Gimsøy and Kola sections, the area-averaged temperature in the Barents Sea (71-79°N 25-55°E) at 100 m depth, and the length index of thermal frontal zones in the Barents Sea. Reliable and adequate regression equations were constructed for the selected stock parameters, including the temperature of Atlantic waters and the length index of frontal zones

in the Barents Sea, the biomass of spawning cod stock, and the average number of its recruits at age 3 over the previous two years, which allow forecasts to be made with a lead time of up to one year.

**Practical significance:** The obtained results will allow a better understanding of the processes occurring in the Barents Sea ecosystem, and will be used to assess the impact of climate change and oceanographic conditions on the state of cod stock in the Barents Sea and to forecast its recruitment abundance and mean fish weight at age 3.

**Keywords:** Barents Sea, climate, oceanographic conditions, Northeast Arctic cod, spawning stock, recruitment, fish weight.

## ВВЕДЕНИЕ

Баренцево море имеет очень высокую биологическую продуктивность, которая во многом зависит от условий окружающей среды [Ижевский, 1961; Гершанович, Муромцев, 1983; Шевченко, 2000; Jakobsen, Ozhigin, 2011; Dalpadado et al., 2014]. Северо-восточная арктическая (СВА) треска *Gadus morhua* L., 1758 – один из наиболее ценных объектов промысла в Баренцевом море, который формирует востребованный биологический ресурс, имеющий высокое значение на рынке. Её нагульные миграции начинаются в апреле-мае и проходят из районов нереста у северного побережья Норвегии и зимовки в западной части Баренцева моря в северном и восточном направлениях. Крайний ареал она достигает в августе-октябре, широко распределяясь по акватории в поисках пищи [Маслов, 1944; Бойцов и др., 1996; Jakobsen, Ozhigin, 2011]. В последнее десятилетие биомасса нерестового запаса трески в Баренцевом море сократилась с 2,21 млн т в 2013 г. до 0,71 млн т в 2023 г. и 0,55 млн т в 2024 г., и в последующие годы она продолжит снижение до предосторожной величины  $B_{pa}$  (460 тыс. т).<sup>1</sup>

Вопросы прогнозирования численности пополнения и темпа роста рыб от некоторых биотических и абиотических факторов (например, температуры и солёности воды, плотности популяции трески и т. д.) поднимались неоднократно [Nilssen et al., 1994; Ожигин и др., 1995; Ковалёв, Ярагина, 2009; Ottersen et al., 2006; Stige et al., 2010; Bogstad et al., 2013]. Однако, по прошествии некоторого времени и добавлении дополнительных лет во временные ряды найденные связи нарушались или становились незначимыми. Параметрами, оказывающими влияние на численность пополнения и темп роста рыб, признавались различные показатели. Отмечалась хорошая согласованность между средними размерами трески в отдельные годы

и суммой температур в сезоны нагула за период существования особей, что указывало на первостепенное влияние температурных условий на скорость роста трески [Dementyeva, Mankevich, 1965]. Но потепление в регионе Баренцева и сопредельных морей, которое наблюдается с начала 2000-х гг. [Карсаков и др., 2018], не способствовало увеличению средней массы рыб, поскольку это не единственный влияющий фактор, тем более что при увеличении температуры воды увеличиваются величины поддерживающего рациона, а в случае СВА трески и протяжённость нагульных миграций [Poloczanska et al., 2013; Morley et al., 2018; Little et al., 2021; Трофимов и др., 2023]. Численность пополнения, изменчивость которого весьма высока у СВА трески, может быть результатом многих причин [Houde, 2008], действующих в течение периода жизни пререкрута (три года у трески). Это может быть расположение мест нереста, температура на местах нерестилищ и её прямое влияние на время развития икры и выклев личинок, и косвенное – на темп роста и формирование кормовой базы для личинок [Кисляков, 1964; Терещенко, 1980; Ожигин и др., 1999; Opdal et al., 2011; Langangen et al., 2014]. Таким образом, влияние различных факторов на численность пополнения и среднюю массу пререкрутов может меняться при изменении климатических процессов, и целесообразно пересматривать их взаимосвязь при появлении новых данных или увеличении ряда наблюдений.

В последние десятилетия в Баренцевом море на фоне увеличения количества штормов наблюдалось существенное повышение температуры воздушных и водных масс, сопровождавшееся сокращением площади льдов [Гудкович и др., 2009; Алексеев и др., 2016; Трофимов и др., 2018; Лис, Егорова, 2022; González-Pola et al., 2023; Тимофеева и др., 2024]. Устойчивый тёплый период начался на рубеже XX и XXI веков [Boytssov et al., 2012; Mohamed et al., 2022], а с 2005 г. условия в море были рекордно тёплыми с пиком потепления в 2016 г., после чего наметилась тенденция на похолодание [Тимохов и др., 2019; Трофимов, 2021, Сентыабов, Трофимов, 2024]. Это не могло не отразиться на состоянии запаса трески. Поскольку численность пополнения и масса трески

<sup>1</sup> Report of the Joint Russian-Norwegian Arctic Fisheries Working Group (JRN-AFWG). 2024. IMR-PINRO Joint Report Series. 2024. № 2024-7. 305 pp. [https://hi.no/hi/nettrappor/IMR-pinro-2024-7?\\_gl=1\\*39ehvj\\*\\_up\\*MQ.\\*\\_ga\\*ODc3ODkwODQ4LjE3NTA2ODA0MDQ.\\*\\_ga\\_ST62YQW615\\*czE3NTA2ODA0MDMkbzEkZEkdE3NTA2ODA0MTAkUzljGwwjGgw](https://hi.no/hi/nettrappor/IMR-pinro-2024-7?_gl=1*39ehvj*_up*MQ.*_ga*ODc3ODkwODQ4LjE3NTA2ODA0MDQ.*_ga_ST62YQW615*czE3NTA2ODA0MDMkbzEkZEkdE3NTA2ODA0MTAkUzljGwwjGgw)

в возрасте 3 года слабо подвержены влиянию промысла, они лучше других параметров запаса подходят для оценки влияния на него изменений климата. Так как вклад пополнения трески в динамику её запаса очевиден, выявление влияющих на него факторов с привлечением различных переменных является важной и актуальной задачей при прогнозировании динамики запаса, а также общего допустимого улова, в целях эффективного управления морским рыбным промыслом, особенно в условиях современных изменений климата.

Целью данной работы была оценка влияния изменений климата и океанологических условий на численность пополнения и массу трески в возрасте 3 года, как показателей состояния её запаса в Баренцевом море и прилегающих водах в 1981-2023 гг.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для оценки влияния изменений климата и океанологических условий на состояние запаса СВА трески в Баренцевом море использовались следующие параметры окружающей среды за 1981-2023 гг.: зимний индекс Северо-Атлантического колебания<sup>2</sup>, температура атлантических вод в слое 50-200 м на разрезе «Гимсёй» (68,9° с. ш. 12,6° в. д. – 69,1° с. ш. 12° в. д.) в Норвежском море средняя за период март–май<sup>3</sup>, среднегодовая температура атлантических вод в слое 0-200 м на разрезе «Кольский меридиан» (70°30'–72°30' с. ш. 33°30' в. д.) в Баренцевом море [Карсаков и др., 2022, собственные данные], средняя по площади (71-79° с. ш. 25-55° в. д.) и за период август–сентябрь температура воды на глубине 100 м, вычисленная по данным океанографической базы Полярного филиала ВНИРО, и индекс протяжённости термических фронтальных зон Баренцева моря (73-78° с. ш. 15-30° в. д.) на 50 м средний за период август–сентябрь, рассчитанный согласно [Ившин и др., 2020].

Динамика нерестового запаса СВА трески, численность пополнения и средняя масса рыбы в возрасте 3 года в 1981-2023 гг. представлены по данным Совместной Рабочей группы учёных России и Норвегии<sup>1</sup>.

В работе использовались сравнительный анализ данных, методы описательной статистики, корреляционный и регрессионный анализы [Елисеева, Юзбашев, 2004]. Статистическая обработка данных и построение графиков выполнялись в программах Microsoft Excel 2016 (надстройка «Анализ данных») и Statistica 13.

Достоверность трендов оценивалась с помощью критерия Стьюдента и соответствующего ему уровня значимости  $p$ -value. Если  $p$ -value был меньше 0,05, тренд считался статистически значимым с вероятностью 95%, а если меньше 0,01, то, соответственно, с вероятностью 99% [Коросов, Горбач, 2007]. Аналогичный подход использовался при оценке значимости рассчитанных в работе коэффициентов корреляции.

Для регрессионного анализа с целью оценки влияния климата и океанологических условий на состояние запаса СВА трески в качестве зависимых переменных (функций отклика) выбраны численность пополнения (**R3**) и средняя масса (**W3**) трески в возрасте 3 года, а в качестве независимых переменных (предикторов, факторов), помимо биомассы нерестового запаса трески (**SSB**) и средней за два предыдущих года численности её пополнения в возрасте 3 года, использованы зимний индекс Северо-Атлантического колебания (**wNAO**), температура атлантических вод на разрезах «Гимсёй» в Норвежском море (**TwGS**) и «Кольский меридиан» в Баренцевом (**TwKS**), средняя по площади температура воды на 100 м (**AAT**) и индекс протяжённости термических фронтальных зон Баренцева моря (**FLI**). Независимые переменные использовались как без лага, так и с лагами от одного до трёх лет.

Для оценки связей климато-океанологических процессов с состоянием запаса трески в Баренцевом море построены уравнения множественной линейной регрессии для численности пополнения и средней массы трески в возрасте 3 года. Для каждой зависимой переменной получен набор уравнений, включающих в себя все возможные комбинации предикторов в количестве от одного до шести, взятые с лагами от одного до трех лет для возможности использования в прогностических целях. Более шести факторов не включали, так как считается [Касьянов, 2008], что их максимальное количество должно быть в 6-7 раз меньше длины ряда (в нашем случае она составляет 43 года – период 1981-2023 гг., т. к. с 1981 г. проводятся регулярные тралово-акустические съёмки, значительно повлиявшие на точность оценок пополнения и средней массы рыб).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В работе проанализированы актуализированные климато-океанологические параметры, выбранные для изучения связей климата и океанологических условий с состоянием запаса СВА трески (рис. 1). В изменениях температуры воды как в районе нерестилищ трески в Норвежском море, так и в местах её нагула в Баренцевом море присутствуют статисти-

<sup>2</sup> Hurrell North Atlantic Oscillation (NAO) index (PC-based). NCAR. <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/hurrell-north-atlantic-oscillation-nao-index-pc-based>. 20.12.2024.

<sup>3</sup> ICES Report on Ocean Climate (IROC). ICES. <https://ocean.ices.dk/core/iroc#>. 20.12.2024.

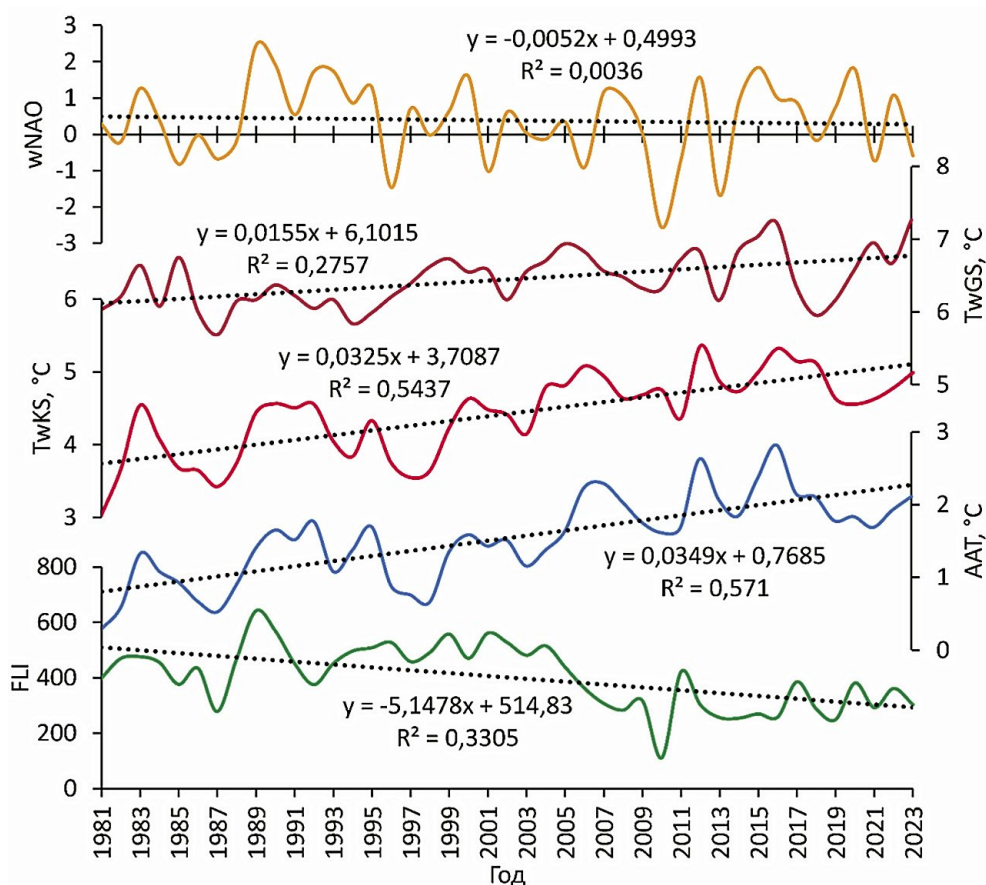
чески значимые положительные тренды ( $R^2 = 0,28-0,57$ ,  $p$ -value  $< 0,001$ ). Наблюдавшаяся после 2016 г. тенденция на похолодание прервалась достаточно тёплым 2023 г.: температура атлантических вод на разрезе «Гимсёй» в Норвежском море в марте–мае составила  $7,3\text{ }^\circ\text{C}$ , достигнув исторического максимума, отмеченного в 2016 г., а на разрезе «Кольский меридиан» в Баренцевом море она достигла  $5,0\text{ }^\circ\text{C}$  (наибольшее среднегодовое значение за последние пять лет), тогда как средняя по площади моря температура на 100 м в августе–сентябре повысилась до  $2,1\text{ }^\circ\text{C}$  (максимальная с 2019 г.).

Индекс протяжённости термических фронтальных зон Баренцева моря после значительного уменьшения в 2000-е гг. и достижения в 2010 г. абсолютного минимума (111) продолжил в последние годы оставаться на низком уровне при общем (за 1981-2023 гг.) отрицательном тренде ( $R^2 = 0,331$ ,  $p$ -value  $< 0,001$ ). Средний за прошедшее десятилетие (2014-2023 гг.)

индекс составил 304, в 2023 г. – 303, при среднемноголетнем (1981-2023 гг.) значении 402 (см. рис. 1).

В рассматриваемый период преобладали положительные значения зимнего индекса Северо-Атлантического колебания: его средняя за 1981-2023 гг. величина составила  $0,38$  (см. рис. 1), что, согласно механизму действия этого атмосферного колебания, привело к повышению штормовой активности над Баренцевым морем и усилению западного переноса в этот район тёплых и влажных воздушных масс из Северной Атлантики. Наибольшие значения этого индекса отмечались в 1989-1995 гг. (в среднем  $1,50$ ) и 2014-2020 гг. ( $1,00$ ). В последние годы он колебался около нуля, составив в среднем за 2021-2023 гг. всего  $-0,08$ .

В условиях указанных климатических изменений в последние десятилетия происходили колебания запаса СВА трески, обусловленные появлением поколений различной урожайности и изменением



**Рис. 1.** Зимний индекс Северо-Атлантического колебания (wNAO), температура атлантических вод на разрезах «Гимсёй» (TwGS) и «Кольский меридиан» (TwKS), средняя по площади температура воды на 100 м (AAT) и индекс протяжённости термических фронтальных зон (FLI) в Баренцевом море в 1981-2023 гг.

**Fig. 1.** Winter North Atlantic Oscillation (wNAO) index, Atlantic water temperature in the Gimsøy (TwGS) and Kola (TwKS) sections, area-averaged temperature at 100 m (AAT) and the length index of thermal frontal zones (FLI) in the Barents Sea in 1981-2023

пресса промысла [Трофимов и др., 2023]. В изменениях нерестового запаса трески для периода с 1981 по 2023 г. также присутствует значимый положительный тренд ( $R^2 = 0,473$ ,  $p$ -value < 0,001). В 1980-е годы нерестовый запас находился на низком уровне (115-321 тыс. т, рис. 2). Появление урожайного поколения 1983 г. на фоне высокой интенсивности промысла не привело к улучшению ситуации.

В конце 1980-х – начале 1990-х годов была существенно снижена величина общего допустимого улова, а промысловая смертность понизилась до 0,4-0,6, после чего начался рост запаса, который достиг локального максимума в 1992 г. Однако, промысловая смертность, начиная с 1994 г., вновь превысила значение критического ориентира (0,74), определяемого в рамках предосторожного подхода, и оставалась крайне высокой до начала 2000-х годов. В первой половине 2000-х годов состояние запаса оценивалось в пределах 255-664 тыс. т. С появлением двух богатых поколений 2004 и 2005 гг. и вступлением с 2003 г.

в действие Правила регулирования промысла, более строго ограничивающего уровни эксплуатации (установлена целевая смертность 0,4), рост запаса заметно ускорился. В 2009 г. нерестовый запас достиг 1000 тыс. т, превысив среднее многолетнее значение (751 тыс. т за 1981-2023 гг.). Запас трески достиг пика в 2012-2014 гг. (1996-2210 тыс. т). Однако затем он начал постепенно снижаться и в 2022-2023 гг. упал несколько ниже среднее многолетнее значение (см. рис. 2).

Несомненно, что в исследуемый период наибольшее влияние на динамику запаса оказывал промысел. Для исследования зависимости состояния запаса СВА трески от климатических и океанологических процессов выбраны параметры популяции, в меньшей степени зависящие от промысла, – численность пополнения и средняя масса трески в возрасте 3 года (рис. 3).

Численность пополнения не связана с биомассой нерестового запаса ( $r = 0,02$ - $0,07$ ,  $p$ -value =  $0,64$ - $0,89$ ) (табл. 1) и, следовательно, не подвержена косвенному влиянию промысла. Прямое влияние промысла на

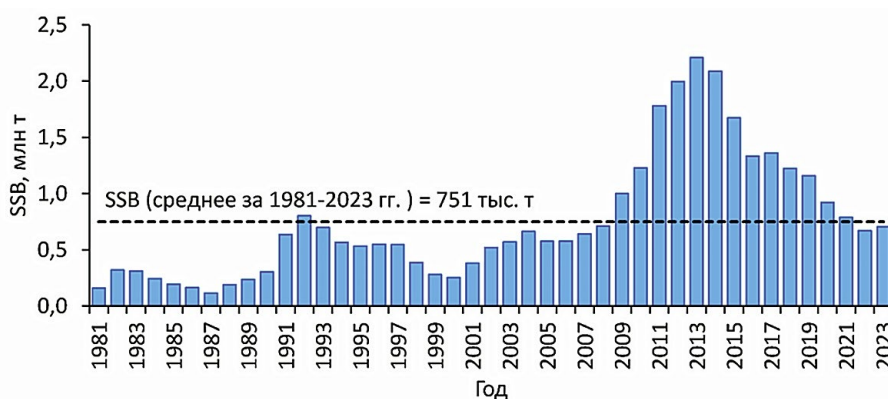


Рис. 2. Биомасса нерестового запаса СВА трески в 1981-2023 гг.

Fig. 2. Biomass of the spawning stock of NEA cod in 1981-2023

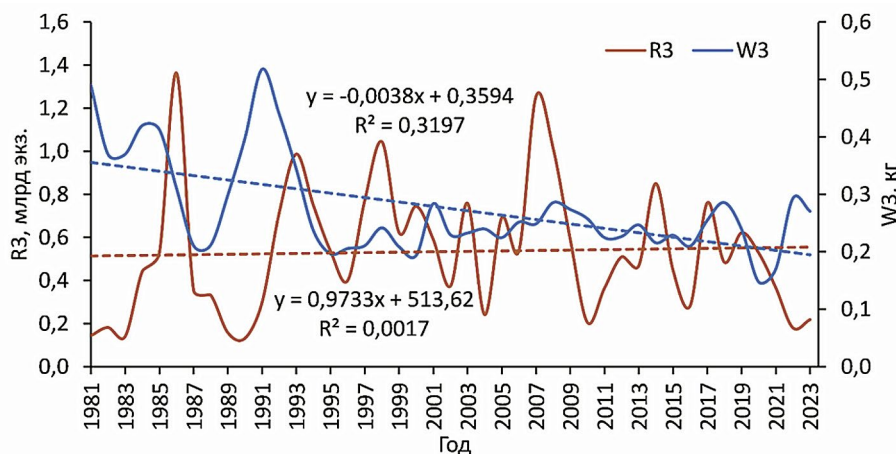


Рис. 3. Численность пополнения (R3) и средняя масса одного экземпляра (W3) СВА трески в возрасте 3 года в 1981-2023 гг.

Fig. 3. Recruitment abundance (R3) and mean weight of one specimen (W3) of NEA cod at age 3 in 1981-2023

**Таблица 1.** Коэффициенты корреляции Пирсона (r) между зависимыми переменными (R3, W3) и предикторами (wNAO, TwGS, TwKS, AAT, FLI, SSB). Жирным шрифтом выделены статистически значимые коэффициенты (уровень значимости p-value < 0,05)

**Table 1.** Pearson correlation coefficients (r) between dependent variables (R3, W3) and predictors (wNAO, TwGS, TwKS, AAT, FLI, SSB). Statistically significant coefficients (significance level p-value < 0.05) are highlighted in bold

Предиктор	Лаг, лет	Численность пополнения в возрасте 3 года (R3)		Средняя масса рыбы в возрасте 3 года (W3)	
		r	p-value	r	p-value
Зимний индекс Северо-Атлантического колебания (wNAO)	0	0,157	0,314	0,093	0,553
	1	-0,096	0,540	0,197	0,206
	2	0,045	0,777	0,092	0,557
	3	0,295	0,055	-0,068	0,667
Температура атлантических вод на разрезе «Гимсёй» в Норвежском море в марте-мае (TwGS)	0	-0,074	0,638	-0,285	0,064
	1	0,156	0,316	-0,107	0,495
	2	0,265	0,086	-0,270	0,080
	3	<b>0,366</b>	0,016	<b>-0,378</b>	0,012
Температура атлантических вод на разрезе «Кольский меридиан» в Баренцевом море в среднем за год (TwKS)	0	-0,071	0,650	-0,256	0,097
	1	0,140	0,371	-0,149	0,339
	2	<b>0,306</b>	0,046	<b>-0,319</b>	0,037
	3	0,295	0,055	<b>-0,529</b>	<0,001
Средняя по площади (71-79° с. ш. 25-55° в. д.) температура воды на 100 м в августе-сентябре (AAT)	0	-0,008	0,958	-0,292	0,057
	1	0,194	0,212	-0,214	0,168
	2	0,224	0,149	<b>-0,309</b>	0,043
	3	0,183	0,241	<b>-0,529</b>	<0,001
Индекс протяжённости термических фронтальных зон Баренцева моря в августе-сентябре (FLI)	0	-0,053	0,737	0,150	0,336
	1	-0,028	0,857	0,211	0,174
	2	0,228	0,142	<b>0,312</b>	0,042
	3	<b>0,423</b>	0,005	0,104	0,506
Биомасса нерестового запаса СВА трески (SSB)	0	0,022	0,889	<b>-0,304</b>	0,048
	1	0,073	0,643	<b>-0,386</b>	0,011
	2	0,066	0,675	<b>-0,441</b>	0,003
	3	0,052	0,739	<b>-0,460</b>	0,002
Средняя за два предыдущих года численность пополнения в возрасте 3 года (R3 <sub>-1,2</sub> )	1-2	0,272	0,078	<b>-0,643</b>	<0,001

молодь трески также ничтожно мало. При этом вклад пополнения в динамику запаса несомненен и выявление влияющих на него факторов является важной задачей при прогнозировании динамики запаса и общего допустимого улова.

Влияние на среднюю массу трески климатических и океанологических факторов может быть как прямым за счёт влияния температуры на темп роста рыб, так и опосредованным, например, за счёт возможного влияния условий среды на кормовую базу трески и обеспеченность её пищей.

Для 1981-2023 гг. в изменениях средней массы трески в возрасте 3 года отмечался значимый отрицательный тренд ( $R^2 = 0,320$ , p-value < 0,001), а в изме-

нениях численности пополнения (R3) он отсутствовал ( $R^2 = 0,002$ , p-value = 0,796) (см. рис. 3).

В табл. 1 представлены коэффициенты корреляции Пирсона между зависимыми переменными (R3, W3) и предикторами (wNAO, TwGS, TwKS, AAT, FLI, SSB), взятыми с лагами от одного до трёх лет и без лага. Видно, что численность пополнения трески в возрасте 3 года хуже коррелирует с влияющими факторами, чем её средняя масса в том же возрасте. Так, для численности пополнения значимая связь обнаружена только с температурой атлантических вод на разрезах «Гимсёй» (r = 0,37, лаг 3 года) и «Кольский меридиан» (r = 0,31, лаг 2 года), а также с индексом протяжённости термических фронтальных зон Баренцева моря (r = 0,42, лаг 3 года). Тогда как для средней массы тре-

ски связь была значима не только с температурой атлантических вод на разрезах «Гимсёй» ( $r = -0,38$ , лаг 3 года), «Кольский меридиан» ( $r = -0,32 \dots -0,53$ , лаги 2 и 3 года) и индексом протяжённости термических фронтальных зон ( $r = 0,31$ , лаг 2 года), но также со средней по площади температурой Баренцева моря на 100 м ( $r = -0,31 \dots -0,53$ , лаги 2 и 3 года), биомассой нерестового запаса ( $r = -0,30 \dots -0,46$ , без лага и с лагами от 1 до 3 лет), а наибольшей из рассмотренных оказалась связь со средней за два предыдущих года численностью пополнения в возрасте 3 года ( $r = -0,64$ ).

С учётом значимости коэффициентов регрессии и количества предикторов, для каждой зависимой переменной выбрано по одной наилучшей модели (под термином «модель» здесь и далее понимаем именно уравнение регрессии). Они сформулированы следующим образом.

Регрессионная модель для численности пополнения трески в возрасте 3 года (подстрочный индекс указывает на лаг предиктора, выраженный в годах):

$$R3 = -203,068 + 200,556 \times TwGS_{-3} - 443,808 \times TwKS_{-1} + 527,619 \times AAT_{-1} + 1,544 \times FLI_{-3}, \quad (1)$$

имеет  $R^2 = 0,437$  ( $p\text{-value} < 0,001$ ), т. е. объясняет 43,7% изменчивости функции отклика.

Регрессионная модель для средней массы трески в возрасте 3 года (подстрочный индекс указывает на лаг предиктора, выраженный в годах):

$$W3 = 0,544 + 0,0280 \times wNAO_{-1} + 0,0187 \times wNAO_{-2} - 0,000256 \times FLI_{-1} - 0,000092 \times SSB_{-3} - 0,000220 \times R3_{-1,2}, \quad (2)$$

имеет  $R^2 = 0,720$  ( $p\text{-value} < 0,001$ ), т. е. объясняет 72,0% изменчивости функции отклика.

Статистическая значимость коэффициентов регрессии в моделях и адекватность самих моделей оценивались с помощью критериев Стьюдента и Фишера [Елисеева, Юзбашев, 2004]. Значения t-крите-

рия Стьюдента, вычисленные для коэффициентов регрессии, превышали табличные значения, а уровень значимости был ниже 0,05. В выбранных моделях почти все коэффициенты регрессии являлись статистически значимыми за исключением только одного коэффициента при температуре атлантических вод на разрезе «Гимсёй» ( $p\text{-value} = 0,061$ ). Об адекватности наших моделей свидетельствуют приемлемые значения критерия Фишера при соответствующим им уровне значимости  $p\text{-value}$ , превышающие табличные. Уровень значимости моделей не превышал 0,001, что говорит о статистически значимой связи между переменными.

Для оценки оправдываемости моделей все ряды (1981-2023 гг.) были разбиты на две выборки: рабочую (1981-2010 гг.) и независимую (2011-2023 гг.). Рабочую выборку использовали для оценки коэффициентов регрессии в уравнениях 1 и 2, на основе которых для независимой выборки составляли прогнозы и проверяли их оправдываемость (табл. 2 и 3). После расчёта прогноза на первый год независимой выборки рабочая выборка увеличивалась на один год, а коэффициенты уравнений снова пересчитывались и составлялись прогнозы на второй год независимой выборки и т. д. Для проверки эффективности регрессионных моделей выполнялось сравнение их обеспеченности с обеспеченностью климатического (т. е. прогноза по норме, **A**) и инерционного (**I**) прогнозов (см. табл. 2 и 3). Дополнительно рассмотрены различные комбинации выбранных моделей с климатическим и инерционным прогнозами, взятые как их среднее значение. В качестве климатического прогноза использовалось среднее значение функции отклика за период, предшествующий году, на который составлялся прогноз, а при инерционном прогнозе в качестве прогнозируемого значения использовалось значение зависимой переменной за предыдущий год.

**Таблица 2.** Оценки качества множественного уравнения регрессии (**M**) для численности пополнения трески в возрасте 3 года

**Table 2.** Quality estimates of the multiple regression equation (**M**) for the recruitment abundance of cod at age 3

Параметр	Варианты и комбинации (среднее) моделей					
	A	I	M	A+M	I+M	A+I+M
Средняя абсолютная погрешность, млн экз.	234,5	266,7	<b>164,2</b>	187,4	197,4	198,4
Обеспеченность (%) при допустимой погрешности $0,8\sigma = 240,4$ млн экз.	63	58	<b>77</b>	74	70	70
Эффективность (в сравнении с климатическим прогнозом, <b>A</b> ), %	–	–	<b>14</b>	12	7	7
Эффективность (в сравнении с инерционным прогнозом, <b>I</b> ), %	–	–	<b>19</b>	16	12	12
Оправдываемость на независимом ряде 2011-2023 гг., %	69	69	<b>85</b>	85	85	85
Средняя абсолютная ошибка прогнозов на 2011-2023 гг., млн экз.	175,0	204,5	<b>129,0</b>	128,7	159,9	147,9

**Таблица 3.** Оценки качества множественного уравнения регрессии (М) для средней массы трески в возрасте 3 года  
**Table 3.** Quality estimates of the multiple regression equation (M) for the mean weight of cod at age 3

Параметр	Варианты и комбинации (среднее) моделей					
	A	I	M	A+M	I+M	A+I+M
Средняя абсолютная погрешность, кг	0,065	0,048	<b>0,035</b>	0,043	0,034	0,038
Обеспеченность (%) при допустимой погрешности $0,8\sigma = 0,068$ кг	67	70	<b>88</b>	81	88	88
Эффективность (в сравнении с климатическим прогнозом, A), %	–	–	<b>21</b>	14	21	21
Эффективность (в сравнении с инерционным прогнозом, I), %	–	–	<b>19</b>	12	19	19
Оправдываемость на независимом ряде 2011-2023 гг., %	62	85	<b>62</b>	77	85	92
Средняя абсолютная ошибка прогнозов на 2011-2023 гг., кг	0,055	0,038	<b>0,065</b>	0,044	0,043	0,037

Считается<sup>4</sup>, что применение метода прогноза в практике морского гидрологического прогнозирования является целесообразным лишь когда для одной и той же допустимой погрешности обеспеченность метода превышает обеспеченность прогноза по норме: для краткосрочных и среднесрочных прогнозов (до 2 месяцев) не менее чем на 18% при допустимой погрешности  $\pm 0,674\sigma$ , для долгосрочных прогнозов (от 2 до 6 месяцев) не менее чем на 10% при допустимой погрешности  $\pm 0,8\sigma$  и для сверхдолгосрочных прогнозов (более 6 месяцев) на любую величину при допустимой погрешности  $\pm \sigma$  (чем больше превышение, тем эффективнее метод). К сожалению, для параметров запаса трески нет чётких критериев оценки качества их прогнозов, ранее экспертно допускалась погрешность  $\pm 20\%$ . Поэтому, за неимением лучшего, авторы предлагают воспользоваться терминологией и подходами, разработанными для гидрологических прогнозов. Обеспеченность уравнений (1) и (2), отнесённых к долгосрочным, составила соответственно 77 и 88%, что на 14 и 21% больше обеспеченности по норме (63 и 67%) при той же допустимой погрешности  $\pm 0,8\sigma$ .

Также была выполнена проверка устойчивости коэффициентов детерминации этих уравнений регрессии при изменении длины рядов, когда они постепенно увеличивались с 30 до 43 членов, причём их начало оставалось неизменным, а год окончания на каждом шаге увеличивался на единицу с 2010 до 2023 г. (рис. 4). Для уравнения (1) при увеличении длины рядов коэффициент детерминации оставался достаточно стабильным, размах его колебаний составлял 0,04 или 9% от среднего значения  $R^2$  (0,44). Для уравнения (2) отмечено плавное уменьшение коэффициента детерминации при удлинении рядов с 0,86 (1983-2010 гг.) до 0,72 (1983-2023 гг.), т. е. его размах составил 0,14 или 18% от среднего значения  $R^2$  (0,80).

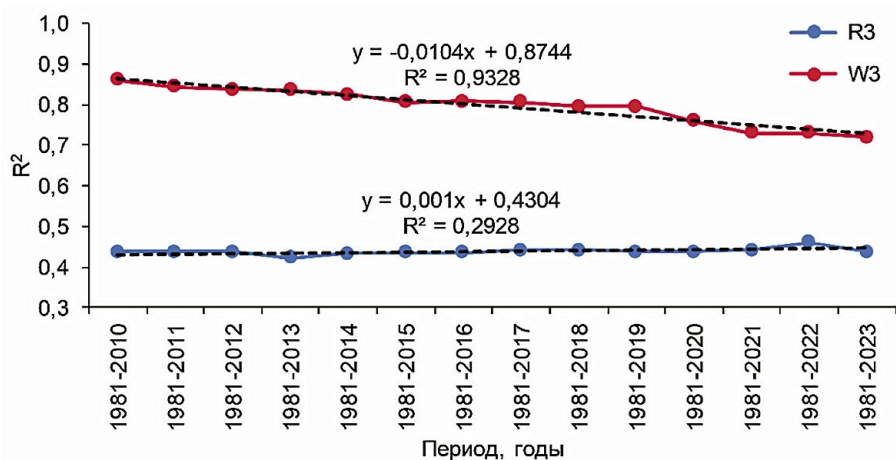
Модель для численности пополнения трески (уравнение 1), показала наилучшую эффективность в сравнении с вариантами, когда она объединялась с климатическим и/или инерционным прогнозами, при этом её средняя абсолютная погрешность оказалась минимальной – 164,2 млн экз. (см. табл. 2). Тогда как в случае модели для средней массы трески (уравнение 2) её обеспеченность и обеспеченность комбинаций этой модели с инерционным и климатическим прогнозами оказались одинаковыми (88%), а средние абсолютные погрешности были наименьшими и близкими по величине (0,034-0,038 кг) (см. табл. 3). Здесь под комбинацией имеется в виду использование модели совместно с климатическим и/или инерционным прогнозами (т. е. среднее арифметическое результатов расчёта по этим методам).

Для численности пополнения трески в возрасте 3 года наилучшую оправдываемость (85%) с наименьшей средней абсолютной ошибкой прогноза (~129 млн экз.) имеют модель 1 и её комбинация с климатическим прогнозом (рис. 5). Тогда как для средней массы трески в возрасте 3 года самую высокую оправдываемость (92%) с наименьшей средней ошибкой (0,037 кг) имеет комбинация модели 2 с климатическим и инерционным прогнозами (рис. 6).

Таким образом, наиболее эффективными из рассмотренных вариантов (см. табл. 2 и 3) в плане прогнозирования оказались: для численности пополнения трески в возрасте 3 года – модель 1, а для средней массы трески в том же возрасте – комбинация модели 2 с климатическим и инерционным прогнозами.

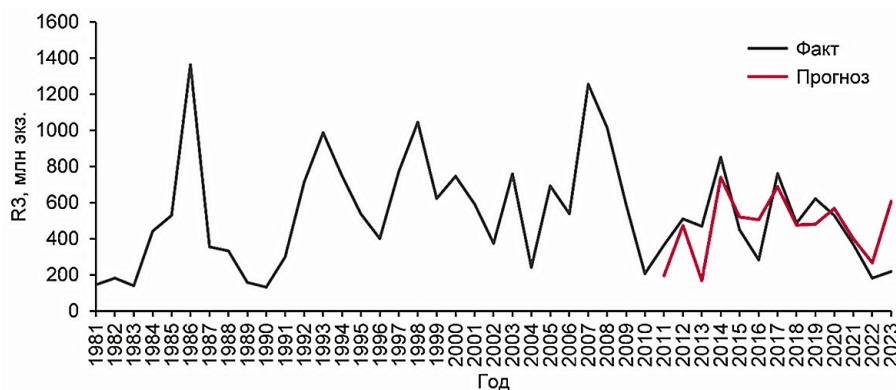
Регрессионная модель для численности пополнения трески в возрасте 3 года включает в себя лишь абиотические факторы: температуру атлантических вод на разрезах «Гимсёй» (с лагом 3 года) и «Кольский меридиан» (с лагом 1 год), среднюю по площади температуру на глубине 100 м (с лагом 1 год) и индекс протяжённости термических фронтальных зон Баренцева моря (с лагом 3 года), что указывает на важную

<sup>4</sup> РД 52.27.759-2011. Наставление по службе прогнозов. Раздел 3. Часть III. Служба морских гидрологических прогнозов. 2011. 188 с.



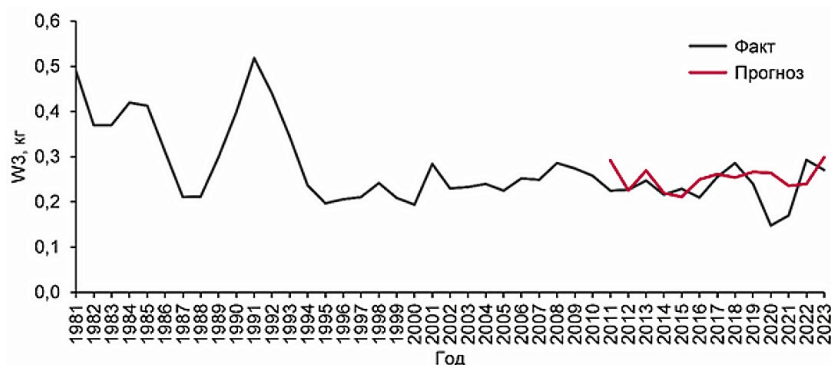
**Рис. 4.** Зависимость коэффициента детерминации ( $R^2$ ) регрессионных моделей для численности пополнения ( $R_3$ ) и средней массы ( $W_3$ ) трески от длины ряда

**Fig. 4.** Dependence of the determination coefficient ( $R^2$ ) of regression models for the recruitment abundance ( $R_3$ ) and mean weight ( $W_3$ ) of cod on the length of the series



**Рис. 5.** Фактические (1981-2023 гг.) и рассчитанные по модели для независимой выборки (2011-2023 гг.) значения численности пополнения трески в возрасте 3 года

**Fig. 5.** Actual (1981-2023) and model-predicted (2011-2023) values of the recruitment abundance of cod at age 3



**Рис. 6.** Фактические (1981-2023 гг.) и рассчитанные по модели для независимой выборки (2011-2023 гг.) значения средней массы трески в возрасте 3 года (использована комбинация модели 2 с климатическим и инерционным прогнозами)

**Fig. 6.** Actual (1981-2023) and model-predicted (2011-2023) values of the mean weight of cod at age 3 (a combination of model 2 with climate and inertial forecasts was used)

роль в формировании численности пополнения трески в возрасте 3 года океанографических условий не только на ранних этапах её онтогенеза, но и на стадии молоди. Из уравнения 1 видно, что чем теплее вода и чем протяжённее фронтальные зоны в первые годы жизни трески, тем выше будет численность её пополнения в возрасте 3 года. Температура атлантических вод на разрезе «Кольский меридиан», вопреки ожиданиям, вошла в данное уравнение со знаком минус, что произошло из-за эффекта мультиколлинеарности, так как она очень тесно коррелирует со средней по площади температурой на 100 м ( $r = 0,95$ ,  $p\text{-value} < 0,001$ ). Тем не менее, мы не стали удалять этот параметр из уравнения, поскольку он объясняет часть остаточной дисперсии.

Регрессионная модель для средней массы трески в возрасте 3 года, помимо абиотических факторов (зимний индекс Северо-Атлантического колебания с лагами 1 и 2 года и протяжённость термических фронтальных зон с лагом 1 год), также включает в себя биологические предикторы: биомассу нерестового запаса (с лагом 3 года) и среднюю за два предыдущих года численности пополнения трески в возрасте 3 года. Зимний индекс Северо-Атлантического колебания, оказывающего влияние на океанографические условия как в Северной Атлантике, так и в европейских арктических морях, во второй и третий годы жизни трески положительно связан с её средней массой в возрасте 3 года, тогда как нерестовая биомасса с лагом 3 года и средняя численность пополнения за предыдущие два года, наоборот, отрицательно – чем выше эти показатели в период жизни молоди, тем меньше её средняя масса, что, вероятно, обусловлено пищевой конкуренцией однолеток между собой и с рыбой старших (на 1 и 2 года) возрастов. Кроме того, вероятно, влияют стартовые условия для роста поколения в год его рождения в связи с плотностью/численностью особей на ранних этапах (личинки, мальки, 0-группа), связанной с биомассой нерестового запаса [Bogstad et al., 2016]. Следует отметить, что индекс протяжённости фронтальных зон, входивший в уравнение для численности пополнения со знаком плюс, здесь поменял его на противоположный, что, скорее всего, также связано с мультиколлинеарностью, поскольку это предиктор тесно связан с нерестовым запасом ( $r = -0,57$ ,  $p\text{-value} < 0,001$ ).

Рыбы обычно развиваются в течение нескольких этапов на ранних стадиях жизни, и на любом этапе могут доминировать разные факторы, определяющие связь организмов со средой. Изменчивость пополнения может быть результатом многих причин [Houde, 2008], действующих в течение жизни пререкрута. Они

включают как климатические факторы (температура, солёность, содержание кислорода, скорость течений, турбулентность, свет), так и биотические (хищничество, приемлемая кормовая база, конкуренция за пищу с представителями своего и других видов и прочие).

Многие авторы указывали на роль температуры в пополнении СВА трески Баренцева моря [Ottersen et al., 2006; Stige et al., 2010; Bogstad et al., 2013], а также на то, что эта роль может меняться в зависимости от возрастной структуры запаса. Наши результаты ещё раз подчёркивают важность первых лет жизни особей для пополнения СВА трески. Новым значимым фактором в нашем исследовании для прогноза мощности пополнения оказался индекс протяжённости термических фронтальных зон Баренцева моря. Механизм его влияния ещё предстоит проанализировать, однако, по-видимому, фронтальные зоны могут быть связаны с формированием (или влиять на степень концентрации) кормового зоопланктона в первый год жизни поколения.

В отношении средней массы рыбы в возрасте 3 года очевидно влияние биотических факторов, т. е. конкуренции за кормовые ресурсы, а также видна роль условий первой зимовки, когда треска переходит к придонному образу жизни и встречается с новыми местами обитания, кормовыми объектами, хищниками, конкурентами, и последующих двух лет. Высокая температура может привести к ускорению темпов развития трески ранних стадий [Folkvord, 2005], что в свою очередь может увеличить выживаемость, позволяя малькам расти быстрее, выходя из диапазона размеров, наиболее уязвимых для хищников [Cushing, 1995]. Ранее было показано, что по индексам температуры поверхностного слоя моря можно предсказывать рост трески и пикши [Stige et al., 2010], предполагая, что более высокая температура приводит к повышению скорости обмена веществ и, при условии, что имеется достаточное количество пищи, к более быстрому росту. Быстрый рост может быть причиной повышения выживаемости, например, за счёт сокращения времени, когда рыбы уязвимы по отношению к хищникам [Ottersen, Loeng, 2000].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе в качестве параметров популяции, отражающих динамику запаса трески и наименее подверженных воздействию промысла, на которых возможно проследить влияние изменений условий среды, выбраны численность пополнения и средняя масса трески в возрасте 3 года. Для этих параметров построены надежные уравнения множественной линейной регрессии с хорошей информационной способностью

( $R^2$  составил 44 и 72% соответственно), которые могут быть использованы для прогнозирования с заблаговременностью до одного года.

Показано, что формирование численности пополнения трески в возрасте 3 года связано с условиями среды (температура воды и протяжённость термических фронтальных зон) как на ранних этапах онтогенеза, так и для молоди. Средняя масса рыбы в возрасте 3 года связана с биомассой нерестового запаса в год нереста и средней численностью пополнения трески в возрасте на 1 и 2 года старше, а также статистически связана с протяжённостью фронтальных зон и индексом Северо-Атлантического колебания во второй и третий годы жизни трески.

Результаты исследований планируется применить для анализа состояния запаса трески в Баренцевом море, характеристики условий среды её обитания и ориентировать на использование в рамках комплексного подхода при изучении процессов формирования запаса трески, а также применять для оценки влияния океанологических условий на состояние запаса трески в Баренцевом море и для прогноза численности её пополнения и средней массы в возрасте 3 года.

В дальнейшем планируется расширить набор предикторов, добавив в него данные по первичной продукции и кормовой базе, что позволит более полно учесть в статистической модели все влияющие факторы.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

### Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания Полярного филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н.М. Книповича).

### ЛИТЕРАТУРА

Алексеев Г.В., Глок Н.И., Смирнов А.В., Вязилова А.Е. 2016. Влияние Северной Атлантики на колебания климата в районе Баренцева моря и их предсказуемость // Метеорология и гидрология. № 8. С. 38-56.

Бойцов В.Д., Лебедь Н.И., Пономаренко В.П., Пономаренко И.Я., Терещенко В.В., Третьяк В.Л., Шевелев М.С., Ярагина Н.А. 1996. Треска Баренцева моря (биолого-промысловый очерк). Мурманск: Изд-во ПИНРО. 285 с.

Гершанович Д.Е., Муромцев А.М. 1983. Океанологические основы биологической продуктивности Мирового океана. Л.: Гидрометеиздат. 320 с.

Гудкович З.М., Карклин В.П., Смоляницкий В.М., Фролов И.Е. 2009. О характере и причинах изменений климата Земли // Проблемы Арктики и Антарктики. № 81. С. 15-23.

Елисеева И.И., Юзбашев М.М. 2004. Общая теория статистики. М.: Финансы и статистика. 656 с.

Ившин В.А., Трофимов А.Г., Титов О.В. 2020. Изменчивость термических фронтальных зон Баренцева моря за период 1960-2018 гг. // Труды ВНИРО. Т. 180. С. 60-71. DOI: 10.36038/2307-3497-2020-180-60-71.

Ижевский Г.К. 1961. Океанологические основы формирования промысловой продуктивности морей. М.: Пищепромиздат. 215 с.

Карсаков А.Л., Трофимов А.Г., Анциферов М.Ю., Ившин В.А., Губанищев М.А. 2022. 120 лет океанографических наблюдений на разрезе «Кольский меридиан». Мурманск: ПИНРО им. Н.М. Книповича. 145 с.

Карсаков А.Л., Трофимов А.Г., Ившин В.А. 2018. Восстановление данных по температуре воды на разрезе «Кольский меридиан» в 2016-2017 гг. // Труды ВНИРО. 2018. Т. 173. С. 193-206.

Касьянов В.А. 2008. Эконометрика: учебное электронное текстовое издание. Екатеринбург: УПИ. 200 с.

Кисляков А.Г. 1964. Колебания гидрологического режима северной части Норвежского моря и их влияние на формирование поколений аркто-норвежского стада трески // Материалы сессии Ученого совета ПИНРО по результатам исследований в 1962-1963 гг. Мурманск. Вып. 3. С. 44-59.

Ковалев Ю.А., Ярагина Н.А. 2009. Влияние плотности популяции на скорость роста, созревания и продуктивность запаса северо-восточной арктической трески *Gadus morhua morhua* L. // Вопросы ихтиологии. Т. 49, № 1. С. 61-70.

Коросов А.В., Горбач В.В. 2007. Компьютерная обработка биологических данных. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ. 76 с.

Лис Н.А., Егорова Е.С. 2022. Климатическая изменчивость ледовитости Баренцева моря и его отдельных районов // Проблемы Арктики и Антарктики. Т. 68. № 3. С. 234-247. DOI: 10.30758/0555-2648-2022-68-3-234-247.

Маслов Н.А. 1944. Донные рыбы Баренцева моря и их промысел // Труды ПИНРО. Вып. 8. С. 3-186.

Ожигин В.К., Третьяк В.Л., Ярагина Н.А., Ившин В.А. 1995. Зависимость роста аркто-норвежской трески *Gadus morhua* от условий откорма мойвой *Mallotus villosus villosus* и температуры воды // Вопросы ихтиологии. Т. 35, № 3. С. 334-342.

Ожигин В.К., Третьяк В.Л., Ярагина Н.А., Ившин В.А. 1999. Океанографические условия Баренцева моря и их влияние на выживание и развитие молоди северо-восточной арктической трески. Мурманск: Изд-во ПИНРО. 88 с.

Сентябов Е.В., Трофимов А.Г. 2024. Динамика гидрометеорологических условий в Северной Атлантике и Западной Арктике в эпоху глобальных климатических изменений

- // Труды ВНИРО. Т. 196. С. 179-192. DOI: 10.36038/2307-3497-2024-196-179-192.
- Терещенко В.В. 1980. Особенности гидрометеорологических условий дрейфа икры и личинок лодотенской трески // Физико-химические условия формирования биологической продуктивности Баренцева моря. Апатиты. С. 34-40.
- Тимофеева А.Б., Юлин А.В., Иванов В.В., Шаратунова М.В., Павлова Е.А. 2024. Ледовитость российских арктических морей трассы Северного морского пути в современный климатический период // Арктика: экология и экономика. Т. 14. № 1 (53). С. 135-146. DOI: 10.25283/2223-4594-2024-1-135-146.
- Тимохов Л.А., Вязигина Н.А., Миронов Е.У., Юлин А.В. 2019. Климатические изменения сезонных и долгопериодных колебаний ледовитости Гренландского и Баренцева морей // Проблемы Арктики и Антарктики. Т. 65. № 2. С. 148-168. DOI: 10.30758/0555-2648-2019-65-2-148-168.
- Трофимов А.Г. 2021. Современные тенденции изменения океанографических условий Баренцева моря // Труды ВНИРО. Т. 186. С. 101-118. DOI: 10.36038/2307-3497-2021-186-101-118.
- Трофимов А.Г., Карсаков А.Л., Ившин В.А. 2018. Изменения климата в Баренцевом море на протяжении последнего полувека // Труды ВНИРО. Т. 173. С. 79-91. DOI: 10.36038/2307-3497-2018-173-79-91.
- Трофимов А.Г., Ярагина Н.А., Ившин В.А., Ковалев Ю.А., Анциферов М.Ю., Сентябов Е.В. 2023. Распределение трески в Баренцевом море в условиях изменяющегося климата // Труды ВНИРО. Т. 192. С. 68-84. DOI: 10.36038/2307-3497-2023-192-68-84.
- Шевченко А.В. 2000. Океанологические условия формирования промысловой продуктивности в морях Северо-Европейского бассейна. Мурманск: Изд-во ПИИРО. 100 с.
- Bogstad B., Dingsør G.E., Ingvaldsen R.B., Gjørseter H. 2013. Changes in the relations between oceanographic conditions and recruitment of cod, haddock and herring in the Barents Sea // Marine Biology Research. V. 9. P. 895-907. DOI: 10.1080/17451000.2013.775451.
- Bogstad B., Yaragina N., Nash R. 2016. The early life-history dynamics of Northeast Arctic cod: levels of natural mortality and abundance during the first three years of life // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. V. 73, No. 2. P. 246-256. DOI: 10.1139/cjfas-2015-0093.
- Boitsov V.D., Karsakov A.L., Trofimov A.G. 2012. Atlantic water temperature and climate in the Barents Sea, 2000-2009 // ICES Journal of Marine Science. V. 69. № 5. P. 833-840. DOI: 10.1093/icesjms/fss075.
- Cushing D.H. 1995. Population Production and Regulation in the Sea. A Fisheries Perspective. Cambridge: Cambridge University Press. 354 pp.
- Dalpadado P., Arrigo K.R., Hjøllø S.S., Rey F., Ingvaldsen R.B., Sperfeld E., van Dijken G.L., Stige L.C., Olsen A., Ottersen G. 2014. Productivity in the Barents Sea – response to recent climate variability // PLoS ONE. V. 9, № 5. Art. e95273. DOI: 10.1371/journal.pone.0095273.
- Dementyeva T.F., Mankevich E.M., 1965. Changes in the growth rate of the Barents Sea cod as affected by environmental factors // ICNAF. Spec. Publ. No. 6. P. 571-577.
- Folkvord A. 2005. Comparison of size-at-age of larval Atlantic cod (*Gadus morhua*) from different populations based on size- and temperature-dependent growth models // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. V. 62. P. 1037-1052. DOI: 10.1139/F05-008.
- González-Pola C., Larsen K.M.H., Fratantoni P., Beszczynska-Möller A. (Eds.) 2023. ICES Report on Ocean Climate 2021 // ICES Cooperative Research Report. V. 358. 123 pp. DOI: 10.17895/ices.pub.24755574.
- Houde E.D. 2008. Emerging from Hjort's Shadow // Journal of Northwest Atlantic Fishery Science. V. 41. P. 53-70. DOI: 10.2960/J.v41.m634.
- Jakobsen T., Ozhigin V.K. (Eds.) 2011. The Barents Sea: ecosystem, resources, management. Half a century of Russian-Norwegian cooperation. Trondheim: Tapir Academic Press. 825 pp.
- Langangen Ø., Stige L., Yaragina N., Vikebø N., Bogstad B., Gusdal Y. 2014. Egg mortality of Northeast Arctic cod (*Gadus morhua*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*). ICES Journal of Marine Science. V. 71. Iss. 5. P. 1129-1136. DOI: 10.1093/icesjms/fst007.
- Little A.G., Loughland I., Seebacher F. 2021. What do warming waters mean for fish physiology and fisheries? // Journal of Fish Biology. No. 98. P. 1493. DOI: 10.1111/jfb.14803.
- Mohamed B., Nilsen F., Skogseth R. 2022. Interannual and decadal variability of sea surface temperature and sea ice concentration in the Barents Sea // Remote Sensing. V. 14. Iss. 17. Art. 4413. DOI: 10.3390/rs14174413.
- Morley J.W., Selden R.L., Latour R.J., Frölicher T.L., Seagraves R.J., Pinsky M.L. 2018. Projecting shifts in thermal habitat for 686 species on the North American continental shelf // PLoS One. V. 13. Iss. 5. Art. e0196127. DOI: 10.1371/journal.pone.0196127.
- Nilssen E.M., Pedersen T., Hopkins C.C.E., Thyholdt K., Pope J.G. 1994. Recruitment variability and growth of Northeast Arctic cod: influence of physical environment, demography, and predator – prey energetics // ICES marine Science Symposia. V. 198. P. 449-470.
- Opdal A.F., Vikebø F.B., Fiksen O. 2011. Parental migration, climate and thermal exposure of larvae: spawning in southern regions gives Northeast Arctic cod a warm start // Marine Ecology Progress Series, 439: 255-262.
- Ottersen G., Hjermann D., Stenseth N.C. 2006. Changes in spawning stock structure strengthens the link between climate and recruitment in a heavily fished cod stock // Fisheries Oceanography. V. 15. P. 230-243. DOI: 10.1111/j.1365-2419.2006.00404.x.
- Ottersen G., Loeng H. 2000. Covariability in early growth and yearclass strength of Barents Sea cod, haddock and herring: the environmental link // ICES Journal of Marine Science. V. 57. P. 339-348. DOI: 10.1006/jmsc.1999.0529.

- Poloczanska E.S., Brown C.J., Sydeman W.J.* 2023. Global imprint of climate change on marine life // *Nature Climate Change*. V. 3. P. 919-925. DOI: 10.1038/nclimate1958.
- Stige L.C., Ottersen G., Dalpadado P., Chan K-S., Hjermann D., Lajus D., Yaragina N., Stenseth N.* 2010. Direct and indirect climate forcing in a multi-species marine system. *Proc. of the Royal Society B // Biological Sciences*. V. 277. P. 3411-3420. DOI: 10.1006/jmsc.1999.0529.
- Sætersdal, G., Loeng, H.* 1987. Ecological adaption of reproduction in Northeast Arctic Cod. *Fisheries Research*, 5: 253-270.
- Korosov A.V., Gorbach V.V.* 2007. Computer processing of biological data. Petrozavodsk: PetrGU. 76 pp. (In Russ.).
- Lis N.A., Egorova E.S.* 2022. Climatic variability of the ice extent of the Barents Sea and its individual areas // *Arctic and Antarctic Research*. V. 68. № 3. P. 234-247. 10.30758/0555-2648-2022-68-3-234-247. (In Russ.).
- Maslov N.A.* 1944. Demersal fishes of the Barents Sea and their fishing // *Trudy PINRO*. V. 8. P. 3-186. (In Russ.).
- Ozhigin V.K., Tretiak V.L., Yaragina N.A., Ivshin V.A.* 1995. Dependence of the growth of arctic-Norwegian cod *Gadus morhua morhua* on the conditions of feeding capelin *Mallotus villosus villosus* and water temperature // *Voprosy ichtthyologii*. V. 35, № 3. P. 334-342. (In Russ.).
- Ozhigin V.K., Tretiak V.L., Yaragina N.A., Ivshin V.A.* 1999. The Barents Sea oceanographic conditions and their impact on the survival and development of juvenile Northeast Arctic cod. Murmansk: PINRO Publish. 88 p. (In Russ.).
- Sentyabov E.V., Trofimov A.G.* 2024. Dynamics of hydrometeorological conditions in the North Atlantic and West Arctic in the age of global climate changes // *Trudy VNIRO*. Vol. 196. P. 179-192. DOI: 10.36038/2307-3497-2024-196-179-192. (In Russ.).
- Tereshchenko V.V.* 1980. Features of hydrometeorological conditions of drift of eggs and larvae of Lofoten cod // *Physicochemical conditions of formation of biological productivity of the Barents Sea*. Apatity. P. 34-40. (In Russ.).
- Timofeeva A.B., Yulin A.V., Ivanov V.V., Sharatunova M.V., Pavlova E.A.* 2024. Ice cover of the Russian Arctic seas along the Northern Sea Route in the modern climatic period // *Arctica: ecologia i ekonomika*. Vol. 14. No/1 (53). P. 135-146. DOI: 10.25283/2223-4594-2024-1-135-146. (In Russ.).
- Timokhov L.A., Vyazigina N.A., Mironov E.U., Yulin A.V.* 2019. Climatic changes of seasonal and inter-annual variability of the ice cover of the Greenland and Barents Seas // *Arctic and Antarctic Research*. V. 65. № 2. P. 148-168. DOI: 10.30758/0555-2648-2019-65-2-148-168. (In Russ.).
- Trofimov A.G.* 2021. The current trends in oceanographic conditions of the Barents Sea // *Trudy VNIRO*. V. 186. P. 101-118. (In Russ.). <https://doi.org/10.36038/2307-3497-2021-186-101-118>.
- Trofimov A.G., Karsakov A.L., Ivshin V.A.* 2018. Climate changes in the Barents Sea over the last half century // *Trudy VNIRO*. V. 173. P. 79-91. DOI: 10.36038/2307-3497-2018-173-79-91. (In Russ.).
- Trofimov A.G., Yaragina N.A., Ivshin V.A., Kovalev Yu.A., Antsiferov M.Yu., Sentyabov E.V.* 2023. Cod distribution in the Barents Sea under climate changes // *Trudy VNIRO*. V. 192. P. 68-84. DOI: 10.36038/2307-3497-2023-192-68-84. (In Russ.).
- Shevchenko A.V.* 2000. Oceanological conditions for forming commercial productivity in the seas of the North European basin. Murmansk: PINRO Publish. 100 pp. (In Russ.).
- Bogstad B., Dingsør G.E., Ingvaldsen R.B., Gjøsaeter H.* 2013. Changes in the relations between oceanographic conditions and recruitment of cod, haddock and herring

- in the Barents Sea // *Marine Biology Research*. V. 9. P. 895-907. DOI: 10.1080/17451000.2013.775451.
- Bogstad B., Yaragina N., Nash R. 2016. The early life-history dynamics of Northeast Arctic cod: levels of natural mortality and abundance during the first three years of life // *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. V. 73, No. 2. P. 246-256. DOI: 10.1139/cjfas-2015-0093.
- Boitsov V.D., Karsakov A.L., Trofimov A.G. 2012. Atlantic water temperature and climate in the Barents Sea, 2000-2009 // *ICES Journal of Marine Science*. V. 69. № 5. P. 833-840. DOI: 10.1093/icesjms/fss075.
- Cushing D.H. 1995. *Population Production and Regulation in the Sea. A Fisheries Perspective*. Cambridge: Cambridge University Press. 354 pp.
- Dalpadado P., Arrigo K.R., Hjøllo S.S., Rey F., Ingvaldsen R.B., Sperfeld E., van Dijken G.L., Stige L.C., Olsen A., Ottersen G. 2014. Productivity in the Barents Sea – response to recent climate variability // *PLoS ONE*. V. 9, № 5. Art. e95273. DOI: 10.1371/journal.pone.0095273.
- Dementyeva T.F., Mankevich E.M., 1965. Changes in the growth rate of the Barents Sea cod as affected by environmental factors // *ICNAF. Spec. Publ. No. 6*. P. 571-577.
- Folkvord A. 2005. Comparison of size-at-age of larval Atlantic cod (*Gadus morhua*) from different populations based on size- and temperature-dependent growth models // *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. V. 62. P. 1037-1052. DOI: 10.1139/F05-008.
- González-Pola C., Larsen K.M.H., Fratantoni P., Beszczynska-Möller A. (Eds.) 2023. *ICES Report on Ocean Climate 2021* // *ICES Cooperative Research Report*. V. 358. 123 pp. DOI: 10.17895/ices.pub.24755574.
- Houde E.D. 2008. Emerging from Hjort's Shadow // *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science*. V. 41. P. 53-70. DOI: 10.2960/J.v41.m634.
- Jakobsen T., Ozhigin V.K. (Eds.) 2011. *The Barents Sea: ecosystem, resources, management. Half a century of Russian-Norwegian cooperation*. Trondheim: Tapir Academic Press. 825 pp.
- Langangen Ø., Stige L., Yaragina N., Vikebø N., Bogstad B., Gusdal Y. 2014. Egg mortality of Northeast Arctic cod (*Gadus morhua*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*). *ICES Journal of Marine Science*. V. 71. Iss. 5. P. 1129-1136. DOI: 10.1093/icesjms/fst007.
- Little A.G., Loughland I., Seebacher F. 2021. What do warming waters mean for fish physiology and fisheries? // *Journal of Fish Biology*. No. 98. P. 1493. DOI: 10.1111/jfb.14803.
- Mohamed B., Nilsen F., Skogseth R. 2022. Interannual and decadal variability of sea surface temperature and sea ice concentration in the Barents Sea // *Remote Sensing*. V. 14. Iss. 17. Art. 4413. DOI: 10.3390/rs14174413.
- Morley J.W., Selden R.L., Latour R.J., Frölicher T.L., Seagraves R.J., Pinsky M.L. 2018. Projecting shifts in thermal habitat for 686 species on the North American continental shelf // *PLoS One*. V. 13. Iss. 5. Art. e0196127. DOI: 10.1371/journal.pone.0196127.
- Nilssen E.M., Pedersen T., Hopkins C.C.E., Thyholdt K., Pope J.G. 1994. Recruitment variability and growth of Northeast Arctic cod: influence of physical environment, demography, and predator – prey energetics // *ICES marine Science Symposia*. V. 198. P. 449-470.
- Opdal A.F., Vikebø F.B., Fiksen O. 2011. Parental migration, climate and thermal exposure of larvae: spawning in southern regions gives Northeast Arctic cod a warm start // *Marine Ecology Progress Series*, 439: 255-262.
- Ottersen G., Hjermann D., Stenseth N.C. 2006. Changes in spawning stock structure strengthens the link between climate and recruitment in a heavily fished cod stock // *Fisheries Oceanography*. V. 15. P. 230-243. DOI: 10.1111/j.1365-2419.2006.00404.x.
- Ottersen G., Loeng H. 2000. Covariability in early growth and yearclass strength of Barents Sea cod, haddock and herring: the environmental link // *ICES Journal of Marine Science*. V. 57. P. 339-348. DOI: 10.1006/jmsc.1999.0529.
- Poloczanska E.S., Brown C.J., Sydeman W.J. 2023. Global imprint of climate change on marine life // *Nature Climate Change*. V. 3. P. 919-925. DOI: 10.1038/nclimate1958.
- Stige L.C., Ottersen G., Dalpadado P., Chan K-S., Hjermann D., Lajus D., Yaragina N., Stenseth N. 2010. Direct and indirect climate forcing in a multi-species marine system. *Proc. of the Royal Society B // Biological Sciences*. V. 277. P. 3411-3420. DOI: 10.1006/jmsc.1999.0529.
- Sætersdal, G., Loeng, H. 1987. Ecological adaption of reproduction in Northeast Arctic Cod. *Fisheries Research*, 5: 253-270.

Поступила в редакцию 19.02.2025 г.  
Принята после рецензии 11.06.2025 г.



УДК 597.5:549.25 (268.45)

## Среда обитания водных биологических ресурсов

# Содержание свинца в промысловых рыбах Баренцева моря (по многолетним данным)

М.А. Новиков<sup>1</sup>, Е.А. Горбачева<sup>1</sup>, М.Н. Харламова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Полярный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ ВНИРО («ПИНРО») им. Н.М. Книповича, ул. Академика Книповича, 6, Мурманск, 183038, Россия

<sup>2</sup>Мурманский арктический университет (МАУ), ул. Коммуны, 9, Мурманск, 183038, Россия

E-mail: mnovik@pinro.vniro.ru

SPIN-коды: М.А. Новиков – 2063-5426; Е.А. Горбачева – 3135-1411; М.Н. Харламова – 5482-4673

**Цель работы:** исследовать уровень содержания свинца в мышцах и печени основных промысловых рыб Баренцева моря.

**Материалом исследования** послужили образцы рыбы, выловленной в ходе экспедиций «ПИНРО» им. Н.М. Книповича в Баренцевом море в период 2009–2022 гг. Изучены пробы мышц и печени трески, пикши, камбалы-ерша, чёрного палтуса, морской камбалы и пёстрой зубатки. Всего исследовано более 1500 проб.

**Новизна:** впервые на большом объёме материала выполнен сравнительный анализ содержания Pb в шести промысловых рыбах Баренцева моря, определены природные фоновые уровни его содержания, которые можно рассматривать в качестве приемлемых.

**Используемые методы:** свинец в пробах определяли методом пламенной атомно-абсорбционной спектрофотометрии на спектрофотометре фирмы «Shimadzu» (Япония). Статистическую обработку данных и построение диаграмм осуществляли в среде MS Excel и прикладного пакета Statistica 13.

**Результаты:** показано, что среднее содержание Pb в мышцах и печени исследованных рыб не превышало установленного норматива допустимого содержания 1,0 мг/кг сырой массы. Содержание Pb в печени в среднем в 2,4 раза превышало таковое в мышцах. Признаков антропогенного загрязнения исследованных рыб Pb не обнаружено. Предложены расчётные фоновые уровни содержания Pb в мышцах промысловых рыб Баренцева моря. Фоновые уровни отражают современное естественное содержание Pb в ихтиофауне региона и могут быть использованы для выявления антропогенного воздействия на биоту. Статистически обосновано предположение о связи уровня содержания Pb с таксономическим положением объекта: в Камбаловых рыбах его содержание в мышцах достоверно ниже, чем в Тресковых.

**Практическая значимость:** полученные результаты использованы для установления соответствия безопасности промысловых рыб принятым в России требованиям технического регламента Таможенного союза.

**Ключевые слова:** металлы, треска, пикша, палтус, мышцы, печень.

## Lead content in commercial fishes of the Barents Sea (based on long-term data)

Mikhail A. Novikov<sup>1</sup>, Elena A. Gorbacheva<sup>1</sup>, Marina N. Kharlamova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Polar branch of VNIRO (N.M. Knipovich «PINRO»), 6, Academician Knipovich St., Murmansk, 183038, Russia

<sup>2</sup>Murmansk Arctic University («MAU»), 9, Kommuny St., Murmansk, 183038, Russia

**The aim:** to study the amount of lead found in muscle tissue and liver of the main commercial fish species of the Barents Sea.

**Research material** was comprised of fish samples collected during the expeditions of “PINRO” named after Knipovich in the Barents Sea in 2009–2022. The study was based on muscle and liver samples taken from cod, haddock, long rough dab, Greenland halibut, plaice and spotted catfish. Over 1500 samples were analyzed.

**Novelty:** for the first time a large amount of material was used to perform a comparative analysis of Pb content in six commercial fish species of the Barents Sea. Natural background levels of its content to be regarded as acceptable were identified.

**Methods used:** lead in samples was detected by flame atomic absorption spectrophotometry using Shimadzu (Japan) spectrophotometer. Processing of statistical data and diagram plotting were performed in MS Excel and Statistica 13 application package.

**Results:** It has been shown that mean Pb content in fish muscle and liver did not exceed the standard for permissible content, 1.0 mg/kg of the wet weight. Pb content in liver was found to exceed that in muscle by 2.4 times on the average. No signs of anthropogenic pollution by Pb was found in the studied samples. Estimates of background Pb levels in muscle of the Barents Sea commercial fishes were suggested. The background levels are markers of the current natural Pb content in the regional fish fauna and can be used to reveal anthropogenic impact on the biota. There is a statistically sound suggestion regarding a probable link between Pb content and fish taxonomy: the content of Pb in muscle of flatfish is reliably lower than in gadoid fishes.

**Practical significance:** the obtained results were used to estimate the compliance with safety standards for commercial fishes established by the technical regulations of the Customs Union accepted in Russia.

**Keywords:** metals, cod, haddock, Greenland halibut, muscle, liver.

## ВВЕДЕНИЕ

Тяжёлые металлы (ТМ), такие как свинец, кадмий и ртуть, из-за своего значительного токсического воздействия на организмы, в том числе и гидробионтов, принято считать трассерами техногенного воздействия на окружающую среду [Христофорова, 1989].

Естественными источниками поступления свинца в поверхностные воды являются процессы растворения эндогенных (галенит PbS) и экзогенных минералов (англезит PbSO<sub>4</sub>, церуссит PbCO<sub>3</sub> и др.). Содержащая Pb силикатная пыль природных почв, вулканические галогенные аэрозоли и силикатные дымы, попадая в атмосферу, возвращаются на землю с атмосферными осадками [Руководство по химическому..., 1977].

Техногенное загрязнение природных вод и воздуха Pb происходит в результате процесса обжига и плавки свинцовых руд в целях получения металлического свинца [Израэль, Цыбань, 2009]. Значительное повышение концентрации Pb в окружающей среде, в том числе и в природных водах, является следствием широкого применения его в промышленности, сжигания углей, древесины и других органических материалов, включая городские отходы. Важнейшим источником поступления Pb в окружающую среду является автомобильный транспорт; почти в 10 раз ниже вклад сжигания топлива в цветной металлургии. В этилированном бензине содержится органическое соединение Pb (триэтилсвинец), которое более токсично для живых организмов, чем неорганический Pb [Диагностический анализ..., 2011; Clark, 2011; Kumar et al., 2020].

Соединения Pb выносятся в водоёмы со сточными водами рудообогатительных фабрик, некоторых металлургических предприятий, химических производств и шахт [Руководство по химическому..., 1977; Израэль, Цыбань, 2009]. Освоение нефтегазовых месторождений также способно сильно загрязнять свинцом почву и приповерхностную гидросферу.

Свинец относится к так называемым неэссенциальным элементам, представляющим наибольшую экологическую опасность. Эти элементы способны накапливаться в организме животных и включаться в метаболические процессы, оказывая токсическое воздействие [Моисеенко, 2015; Abel, 1996; Campbell, 1995]. Токсичность Pb несколько ниже, чем Hg, Cd и Cu, однако она достаточно велика [Мур, Рамамурти, 1987; Vjerregaard et al., 2014]. Токсический эффект Pb на рыб характеризуется потемнением хвостового стебля (симптом нейротоксикоза), искривлением тела, дегенерацией плавников, гиперактивностью и потерей равновесия. Параллельно с этим обнару-

живаются очаговый некроз паренхимы печени, почек и селезёнки, дистрофия мышечных пучков миокарда, резорбция половых клеток, гемосидероз в селезёнке и почках [Васильков и др., 1989; Kim, Kang, 2015]. Накопление Pb в мышцах рыб обычно ниже, чем в органах, что обусловлено более высоким содержанием в органах (печень, почки и др.) специфических белков – металлотионеинов, связывающих металлы. Низкая растворимость солей Pb ограничивает его движение через клеточные мембраны. Тем не менее, Pb также относят к тиоловым ядам, т. к. он необратимо инактивирует ферменты и нарушает функции структурных белков [Филенко, Михеева, 2007].

Ряд научных исследований подтверждают, что рыба (*in situ*) является хорошим индикатором состояния водной среды, биологической доступности микроэлементов и нарушений метаболизма гидробионтов, связанных с их избытком [Гашкина и др., 2022; Whitfield, Elliott, 2002; Yeom, Adams, 2007].

Допустимый уровень содержания Pb в мышцах (филе, фарш) и печени промысловых видов рыб, предназначенных для пищевых целей, согласно требованиям Технического регламента Таможенного союза (ТР ТС 021/2011)<sup>1</sup> составляет 1,0 мг/кг (мкг/г).

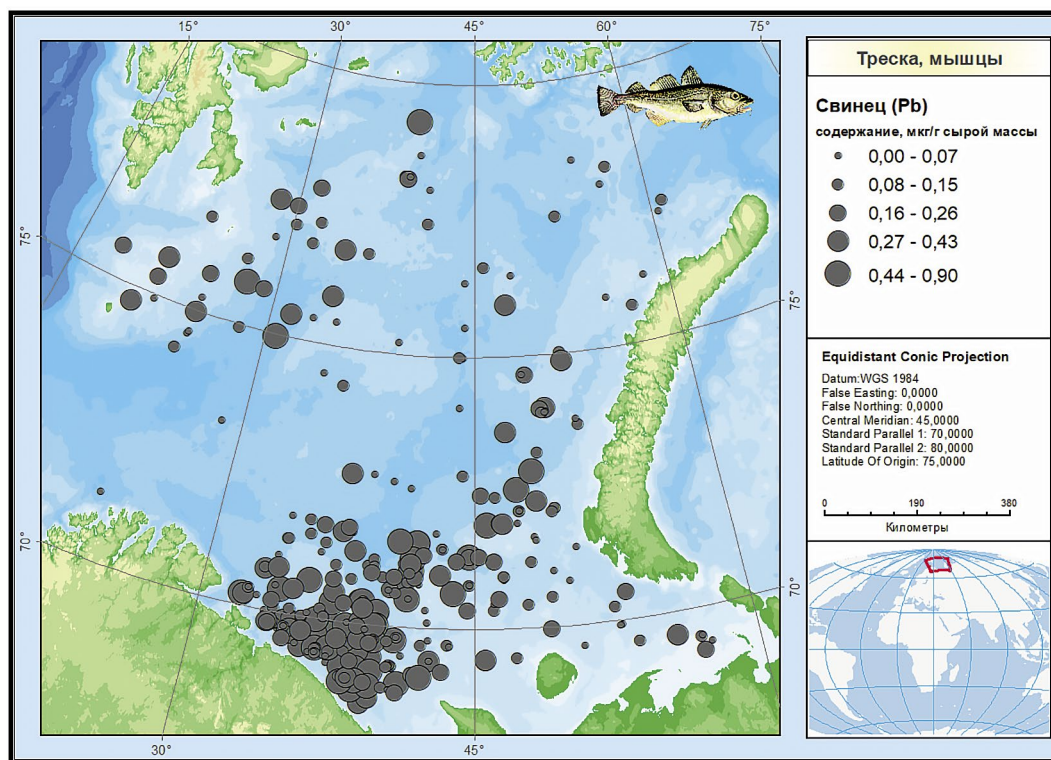
Цель работы – исследовать и оценить уровень содержания Pb в мышцах и печени промысловых рыб Баренцева моря.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материал для исследований собирался в рамках комплексных научных экспедиций, главным образом, на судах «ПИНРО» им. Н.М. Книповича «Смоленск», «Вильнюс» и «Фритюф Нансен» в ходе выполнения программ государственного мониторинга водных биологических ресурсов.

В настоящей работе представлены результаты анализа проб мышечной ткани шести промысловых рыб Баренцева моря – атлантической трески *Gadus morhua* L., 1758 ( $n = 415$ ), пикши *Melanogrammus aeglefinus* (L., 1758) ( $n = 275$ ), камбалы-ерша *Hippoglossoides platessoides* Gottsche, 1835 ( $n = 227$ ), чёрного или синекорого палтуса *Reinhardtius hippoglossoides* (Walbaum, 1792) ( $n = 171$ ), морской камбалы *Pleuronectes platessa* L., 1758 ( $n = 105$ ) и зубатки пёстрой или пятнистой *Anarhichas minor* Ólafsson, 1772 ( $n = 57$ ), пойманных в результате учётных тралений в период с 2009 по 2022 гг. включительно практически на всей акватории Баренцева моря. Для примера на рис. 1 приведена схема отбора проб

<sup>1</sup> Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» (ТР ТС - 021 - 2011). <https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/standarts/technicalregulationses>



**Рис. 1.** Карта-схема отбора проб и содержание свинца в мышцах трески Баренцева моря  
**Fig. 1.** Map of sampling and lead content in cod muscle in the Barents Sea, mg/kg wet weight

атлантической трески. Есть одно исключение: в 2009 г. пробы чёрного палтуса не отбирали. Всего для отбора материала было выполнено более 500 траловых станций. Исследование содержания Pb в печени выполнялось для тех же рыб, но на несколько меньшем количестве экземпляров. Во всех случаях одна проба соответствовала одному экземпляру рыбы.

Отбор проб рыб и их хранение осуществляли в соответствии с методическими указаниями ВНИРО [Изучение экосистем..., 2004]. По завершению отбора пробы были помещены в специальные пакеты и заморожены при  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  для доставки в стационарную лабораторию.

Подготовка и химический анализ проб рыбы выполнены в «ПИНРО» им. Н.М. Книповича на основе известной методики<sup>2</sup>. Подготовка проб проводили методом «мокрой» минерализации. Предварительно образцы тканей рыб тщательно измельчали до пастообразного состояния. К навеске мышц или печени рыб добавляли смесь 70% особо чистой  $\text{HNO}_3$  и концентрированной  $\text{H}_2\text{O}_2$  (4:1), выдерживали в течение 24 ч при комнатной температуре, затем помещали в ми-

кроволновую систему пробоподготовки МС-6 (НТФ «Вольта», г. Санкт-Петербург, Россия). Свинец в пробах гидробионтов определяли методом пламенной спектрофотометрии на атомно-абсорбционном спектрофотометре фирмы «Shimadzu», модель AA 6800 (Япония). Условия проведения измерений на приборе следующие: длина волны 217 нм, ширина щели 0,5/0,7 нм, система коррекции фона D2. Тип пламени воздух/ацетилен. Для градуировки использовали Государственные стандартные образцы (ГСО) состава водных растворов ионов Pb. Каждая аналитическая серия включала «холостую» пробу, что позволяло контролировать возможное загрязнение образцов в процессе анализа. Содержание Pb в промысловых рыбах указывали в мг/кг сырой массы. Статистическую обработку данных и построение диаграмм осуществляли в среде MS Excel и программе Statistica 13.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Данные по содержанию свинца в мышцах исследованных рыб, представлены в табл. 1 и на рис. 1, 2. Среднее содержание Pb в мышцах основных промысловых видов Баренцева моря было значительно ниже допустимого уровня 1,0 мг/кг сырой массы.

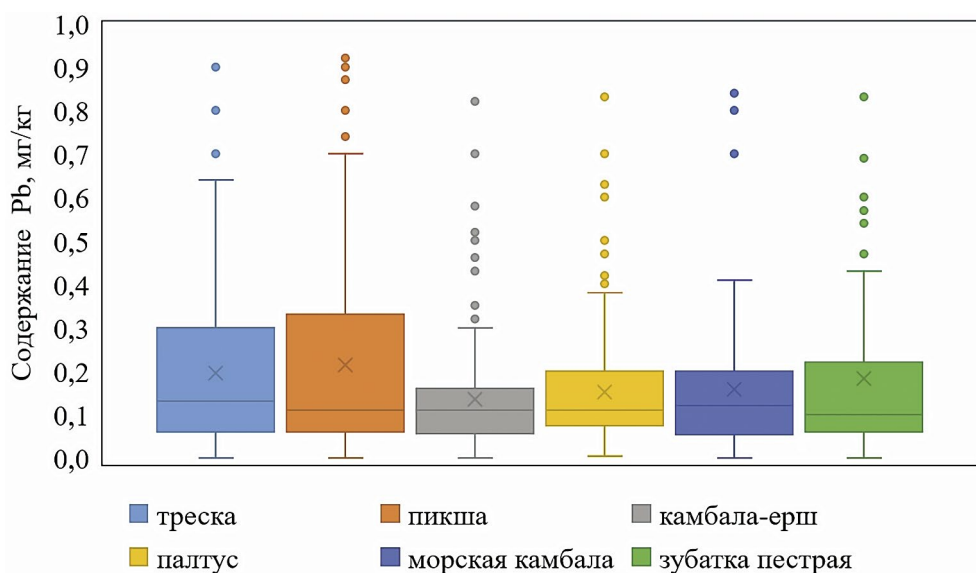
Приведённые в табл. 1 максимальные измеренные значения, а также уровни фонового содержания

<sup>2</sup> ГОСТ 30178-96. Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов. М.: Стандартинформ, 2010. 32 с.

**Таблица 1.** Содержание свинца в мышцах промысловых рыб Баренцева моря  
**Table 1.** Total lead content in the muscle of commercial fish of the Barents Sea

Вид рыбы	Диапазон содержания, мг/кг	Среднее содержание $\pm m$ / медиана, мг/кг сырой массы	Стандартное отклонение	Фоновый уровень, 95 процентиль
Атлантическая треска	< 0,001-0,90	$0,195 \pm 0,009$ 0,13	0,18	0,6
Пикша	< 0,001-0,92	$0,216 \pm 0,013$ 0,12	0,21	0,6
Камбала-ёрш	< 0,001-0,82	$0,156 \pm 0,009$ 0,11	0,14	0,5
Палтус чёрный	0,005-0,83	$0,165 \pm 0,012$ 0,11	0,15	0,5
Камбала морская	< 0,001-0,84	$0,185 \pm 0,02$ 0,12	0,20	0,40
Пёстрая зубатка	< 0,001-0,83	$0,183 \pm 0,027$ 0,10	0,20	0,6

Примечание:  $m$  – стандартная ошибка среднего арифметического; < 0,001 – значения ниже предела обнаружения применяемого метода анализа.



**Рис. 2.** Диаграмма содержания свинца в мышцах промысловых рыб Баренцева моря, мг/кг сырой массы  
**Fig. 2.** Whisker box plot of lead content in muscle of commercial fish of the Barents Sea, mg/kg wet weight

Pb в мышцах исследованных донных рыб Баренцева моря также были ниже норматива. Величины фоновых уровней рассчитаны нами на основе подхода, предложенного ранее [Новиков и др., 2021, 2023]. В общем случае, превышение фонового уровня содержания Pb в рыбе может служить признаком антропогенного загрязнения даже тогда, когда превышение норматива не наблюдается.

Характер распределения величин содержания Pb в мышцах всех исследованных рыб отличался от нормального на основании критерия Колмогорова-Смирнова (во всех случаях  $p < 0,01$ ).

Статистическая обработка представленных данных показала, что имеют место значимые различия в содержании Pb в мышцах исследованных нами рыб согласно однофакторному критерию Краскела-Уоллиса ( $p = 0,03$ ). Для того, чтобы понять какие именно виды различаются по содержанию Pb в мышцах, были выполнены попарные сравнения с помощью  $U$ -критерия Манна-Уитни. Содержание Pb в мышцах трески и пикши достоверно превышало такое в мышцах камбалы-ерша ( $p = 0,003$ ;  $p = 0,007$ ). В остальных парах различия в содержании Pb в мышцах рыб оказались статистически не значимы. Таким

образом, видоспецифичность в накоплении рыбами Pb выражена достаточно слабо. Вместе с тем, на уровень содержания Pb в мышцах оказывало влияние таксономическое положение объекта (рис. 3). Так, у Тресковых рыб (сем. Gadidae: пикша и треска) по сравнению Камбаловыми (сем. Pleuronectidae: камбала-ёрш, морская камбала и чёрный палтус), содержание Pb в мышцах было статистически значимо выше (U-критерий Манна-Уитни:  $p = 0,002$ ). Причём, различия остаются значимыми и при исключении из выборки данных по содержанию Pb в мышцах камбалы-ерша ( $p = 0,045$ ).

Известно, что уровень содержания ТМ в мышцах рыб в некоторых случаях коррелирует с содержанием жира (липидов) в них [Морозов, Петухов, 1986]. Треска и пикша характеризуются более низким содержанием жира в мышцах (в среднем 0,3 и 0,2% соответственно), чем морская камбала, камбала-ёрш, чёрный палтус (3,3, 3,2 и 16%) [Константинова и др., 1997]. Выявленные различия в накоплении Pb в мышцах рыб из сем. Тресковых и Камбаловых могли быть связаны с разным содержанием жира. Однако, проведённый нами корреляционный анализ по Спирмену не выявил связи между содержанием жира в мышцах изученных рыб и содержанием в них Pb ( $r_s = 0,03$ ).

Исследованные нами виды рыб на основе данных по характеру питания можно разделить на хищных – треска и чёрный палтус, хищно-бентоядных –

камбала-ёрш, бентофагов – пикша, морская камбала и пёстрая зубатка [Долгов, 2016]. Сравнение – содержания Pb в мышцах исследованных хищных рыб и бентофагов не выявило статистически значимых различий между указанными группами (U-критерий Манна-Уитни:  $p = 0,85$ ). Таким образом, содержание Pb, в мышцах исследованных рыб, вероятно, не зависит от их трофического статуса. Аналогичные результаты ранее были получены нами для ртути [Новиков и др., 2023].

Анализ межгодовой динамики показателей содержания Pb в мышцах исследованных рыб не выявил достоверных трендов.

Согласно известным данным, корреляция между содержанием Pb и возрастом (и размером) рыб, как правило, отсутствует [Филенко, Михеева, 2007]. Наши исследования это подтверждают: зависимость содержания Pb от веса трески и пикши не обнаружена. Из рис. 4 видно, что содержание свинца в мышцах никак не коррелирует с весом трески ( $n = 137$ , размер выборки связан с числом промеренных рыб). Анализируя представленные на рис. 4 данные можно отметить, что большая вариабельность содержания Pb в мышцах трески наблюдается у рыб практически всех размеров (возрастов), за исключением особей примерно до 2,5 кг. У этих сравнительно молодых рыб содержание Pb в мышцах изменяется в ограниченных пределах. Аналогичная картина наблюдается у пикши

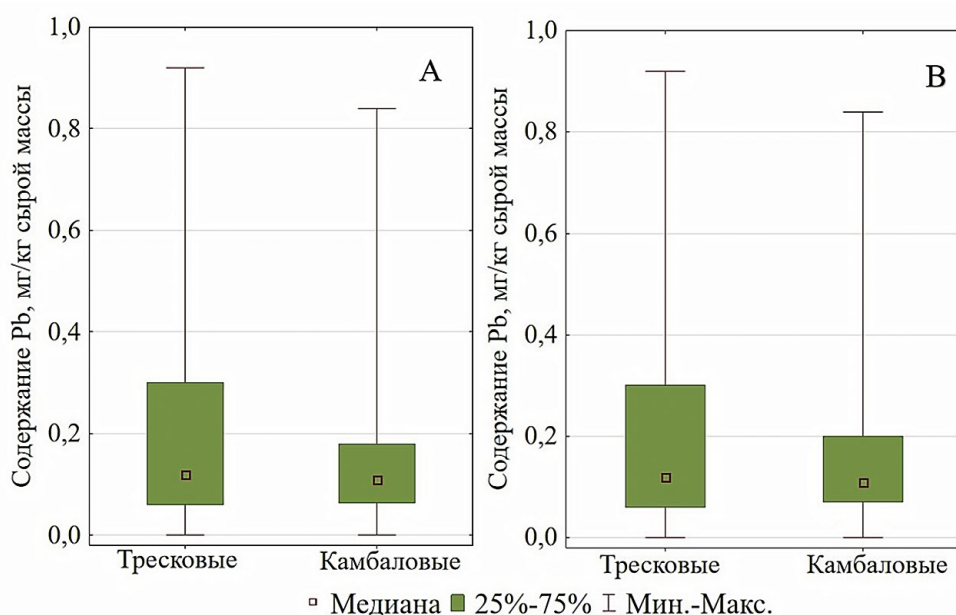
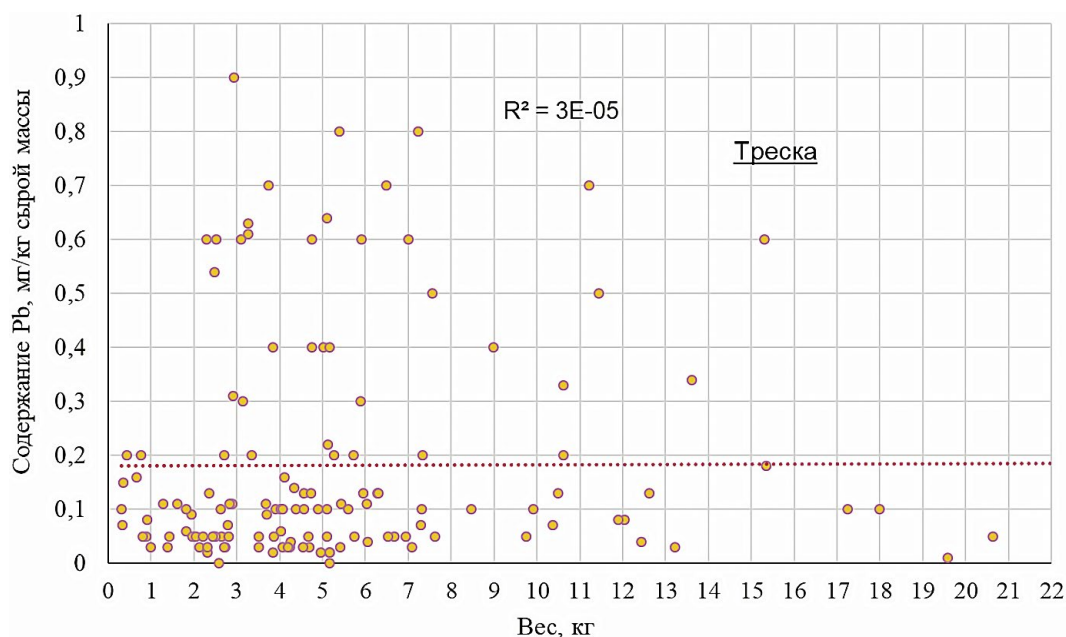


Рис. 3. Содержание Pb в мышцах рыб сем. Тресковых и Камбаловых: А – камбала-ерш включена в выборку (сем. Камбаловых); В – камбала-ерш исключена из выборки

Fig. 3. Lead content in the muscle of fish of the Gadidae and Pleuronectidae families: А – long rough dab is included in the sample (Pleuronectidae family); В – long rough dab is excluded from the sample



**Рис. 4.** Связь содержания свинца в мышцах трески Баренцева моря с весом рыбы с указанием линии тренда и коэффициента детерминации

**Fig. 4.** The relationship of lead content in the muscle of the Barents Sea cod with the weight of the fish, indicating the trend line and coefficient of determination

( $n = 118$ ,  $R^2 = 0,036$ ), с наибольшей вариабельностью содержания Pb у рыб весом от 0,6 до 2,3 кг.

Содержание Pb в печени исследованных промысловых рыб было в среднем в 2,4 раза выше, чем в мышцах (табл. 2, рис. 5). Максимальное содержание Pb в печени рыб Баренцева моря в некоторых случаях превышало предельно допустимый уровень, установленный ТР ТС 021/2011 – 1,0 мг/кг сырой массы. Так, превышение норматива содержания Pb в печени

наблюдалось у 2,1% (пёстрая зубатка) и 3,8% (чёрный палтус) исследованных экземпляров.

Величина превышения содержания Pb в печени над таковым в мышцах у исследованных донных рыб была больше ранее отмеченного нами аналогичного превышения для Hg и As ( $\approx 2$  раза), но заметно ниже такового показателя, рассчитанного нами для других ТМ, где максимальным было накопление в печени Cu и Cd [Новиков и др., 2021, 2023, 2024].

**Таблица 2.** Содержание свинца в печени промысловых рыб Баренцева моря

**Table 2.** Total lead content in the liver of commercial fish of the Barents Sea

Вид рыбы	Диапазон содержания, мг/кг	Среднее содержание $\pm$ m / медиана, мг/кг сырой массы	Стандартное отклонение	Превышение над средним содержанием в мышцах, разы
Атлантическая треска	< 0,001-1,44	$0,431 \pm 0,014$ 0,40	0,27	2,2
Пикша	< 0,001-1,10	$0,430 \pm 0,017$ 0,40	0,28	2,0
Камбала-ёриш	< 0,001-2,40	$0,376 \pm 0,027$ 0,30	0,35	2,4
Палтус чёрный	< 0,001-1,20	$0,439 \pm 0,031$ 0,39	0,29	2,7
Камбала морская	< 0,001-0,98	$0,459 \pm 0,03$ 0,42	0,27	2,5
Пёстрая зубатка	< 0,001-1,03	$0,473 \pm 0,037$ 0,45	0,28	2,6

Примечание: m – стандартная ошибка среднего; < 0,001 – значения ниже предела обнаружения применяемого метода анализа.

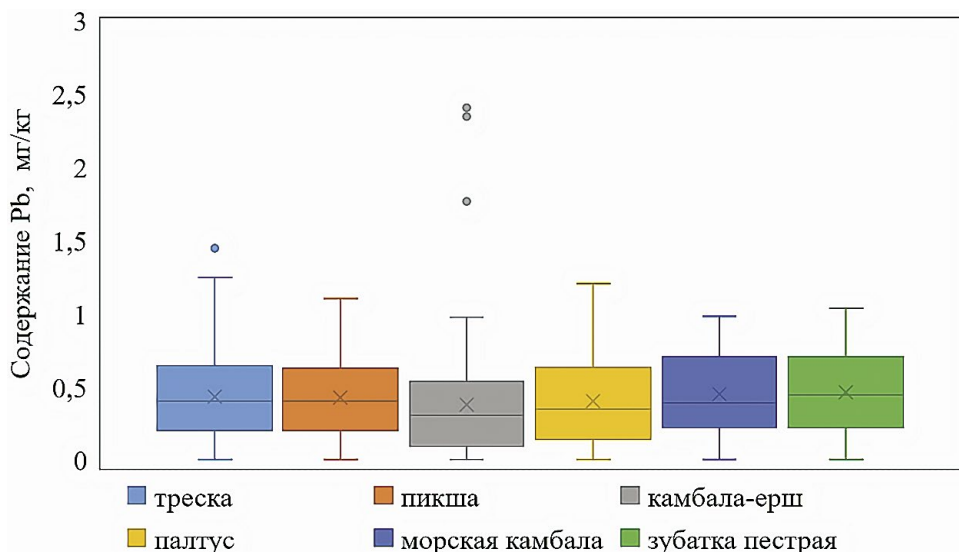


Рис. 5. Диаграмма содержания Pb в печени промысловых рыб Баренцева моря, мг/кг сырой массы  
 Fig. 5. Whisker box plot of lead content in liver of commercial fish of the Barents Sea, mg/kg wet weight

Статистический анализ полученных данных показал, что распределение величин накопления Pb в печени трески, пикши и камбалы-ерша отличалось от нормального на основании критерия Колмогорова-Смирнова. Нормальным было распределение Pb в печени чёрного палтуса, морской камбалы и пёстрой зубатки (во всех случаях  $p > 0,20$ ).

Статистическая обработка также показала, что имеют место значимые различия в содержании Pb в печени исследованных нами рыб согласно однофакторному непараметрическому критерию Краскела-Уоллиса ( $p=0,009$ ). На основании парного критерия Манна-Уитни было установлено, что содержание Pb в печени камбалы-ерша достоверно ниже его содержания в печени трески ( $p=0,000$ ), пикши ( $p=0,005$ ), морской камбалы ( $p=0,004$ ) и пёстрой зубатки ( $p=0,009$ ).

Различия в содержании Pb в печени исследованных нами представителей семейств Тресковых и Камбаловых рыб были статистически не значимы ( $U$ -критерий Манна-Уитни:  $p=0,65$ ). Связь между жирностью печени изученных рыб и содержанием в ней Pb очень слабая ( $r_s = 0,12$ ). Содержание Pb в печени рыб также не зависело от их трофического статуса ( $U$ -критерий Манна-Уитни:  $p=0,81$ ).

## ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты анализа, представленные группой немецких учёных, в мышцах атлантической трески, отобранной на станциях в Норвежском и Баренцевом морях и в районе Гренландии (съёмки 2006-2010 гг.), показывают весьма низкие значения содержания Pb:

от 0,0030 до 0,0068 мг/кг сырой массы ( $n=25$ ) [Karl et al., 2016]. Содержание Pb в печени трески эти авторы не исследовали.

Ранее также показано, что содержание Pb в мышцах и печени морских рыб из района Гренландии редко превышает 0,017 мг/кг сырой массы. Среднее геометрическое значение содержания Pb в мойве *Mallotus villosus* (Müller, 1776) (тушка) из района Гренландии составляло 0,147 мг/кг сырой массы, пятнистой зубатки в печени – 0,013 мг/кг; у чёрного палтуса в мышцах – < 0,010 мг/кг сырой массы, у европейского керчака *Myoxocephalus scorpius* (L., 1758) в мышцах – < 0,010, в печени – 0,011 мг/кг сырой массы [Dietz et al., 1996]. По сравнению с нашими данными, это весьма низкие значения. По другим данным [Ervik et al., 2018], среднее содержание Pb в мышцах атлантической трески и белокорого палтуса *Hippoglossus hippoglossus* (L., 1758) из прибрежной зоны Норвегии (Норвежское море) также было очень низким и составляло 0,002-0,015 мг/кг и 0,002 мг/кг сырой массы соответственно.

Как показали проведённые нами исследования, содержание Pb в атлантической треске Баренцева моря оказалось значительно выше, чем в представителях этого вида из морей, омывающих берега Западной Европы. Так, в мышцах атлантической трески из пролива Ла-Манш среднее содержание Pb составляло 0,043 мг/кг сырой массы [Mauffret et al., 2023] и было в несколько раз ниже, чем в треске Баренцева моря. В мышцах атлантической трески из юго-восточной части Балтийского моря содержание свинца составляло 0,032 мг/кг сырой массы [Родюк и др., 2012]. Соглас-

но данным норвежских исследователей, содержание Pb в треске из западной части Баренцева моря также было достаточно низким, с диапазоном: < 0,01–0,04 мг/кг в мышцах и < 0,01–0,06 мг/кг сырой массы в печени [Julshamn et al., 2013].

В мышцах морской камбалы (*P. platessa*) из пролива Ла-Манш (Атлантика) среднее содержание Pb также очень низкое – 0,008 мг/кг [Mauffret et al., 2023].

В то же время, содержание Pb в мышцах и печени горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1792), зашедшей на нерест в реки бассейна Баренцева моря в 2019 г. мало отличалось друг от друга и составляло 0,208 и 0,286 мг/кг сырой массы соответственно [Христофорова и др., 2023], что вполне согласуется с представленными нами результатами. Известно, что горбуша, большую часть своей жизни проводит в море, в реке практически не питается, поэтому источники загрязнения ее тканей и органов ТМ следует связывать с морской средой обитания в Баренцевом, Северном и Норвежском морях [Шунтов, Тёмных, 2018].

Современный норматив содержания Pb в мышцах промысловых рыб, принятый в Евросоюзе, составляет 0,3 мг/кг сырой массы [E.U., 2011<sup>3</sup>], что более чем в три раза ниже отечественного норматива.

Для сравнения можно также привести некоторые данные по сем. Камбаловых (Pleuronectidae) из других регионов. Так, среднее содержание Pb в мышцах малоротой *Microstomus stelleri* (Schmidt, 1904) и желтопёрой *Limanda (Pleuronectes) aspera* (Pallas, 1814) камбал из залива Петра Великого (Японское море) варьировало от 0,03 до 0,07 мг/кг [Ковековдова и др., 2016], что в разы ниже такового в морской камбале и камбале-ерше из Баренцева моря (см. табл. 1). У остроголовой камбалы *Cleisthenes pinetorum* Jordan & Starks, 1904 из Охотского моря содержание Pb в мышцах также было низким и составило 0,08 мг/кг, а у сахалинской камбалы *Limanda sakhalinensis* Hubbs, 1915 из Японского моря 0,07 мг/кг сырой массы [Ковековдова и др., 2015].

По опубликованным данным, содержание Pb в печени и почках рыб заметно выше, чем в мышцах [Ершова и др., 2021; Moiseenko, Gashkina, 2020]. Это не противоречит результатам наших исследований и может быть обусловлено более высоким содержанием в этих органах специфических белков – металлотионеинов, способных связывать металлы и защищать клетку от токсического действия [Моисеенко, 2015]. При относительно невысоких концентрациях метал-

лов их детоксикация может происходить также в печени и почках за счет связывания уже имеющимися в белках сульфгидрильными группами (RS-H) [Hodson, 1988].

Отмеченное нами нормальное распределение содержания Pb в печени чёрного палтуса, морской камбалы и пёстрой зубатки из Баренцева моря свидетельствует в пользу того, что оно носит, с точки зрения статистики, «случайный» характер. Аналогичная ситуация была отмечена нами ранее в отношении содержания ртути в мышцах и печени баренцевоморских рыб [Новиков и др., 2023]. Полагают, что рыбы способны выводить Pb из организма с участием печени, иными словами, регулировать его накопление [Heath, 2002; Hodson, 1988]. Выведение химических веществ из организма рыб, в целом, происходит через жабры, почки и кожу, а вместе с желчью и через пищеварительный тракт [Моисеенко, 2015].

Для сравнения с нашими данными, среднее содержание Pb в печени остроголовой камбалы из Охотского моря составило 0,17 мг/кг сырой массы, соответственно [Ковековдова и др., 2015], что несколько ниже результатов наших измерений, приведенных в табл. 2. В печени рыб из Чёрного моря содержание Pb было весьма близким к полученным нами значениям. Так, у морского ерша *Scorpaena porcus* L., 1758 и мерланга *Merlangius merlangus euxinus* (L., 1758) содержание Pb в среднем составляло 0,46 и 0,66 мг/кг сырой массы соответственно [Дорохова и др., 2012].

У озёрного сига *Coregonus lavaretus* (L., 1758) даже в относительно загрязнённом водоёме, таком как Имандра (Кольский п-ов) в печени отмечено наименьшее количество Pb (0,04–0,05 мкг/г сухого веса), заметно больше Pb наблюдалось в почках; жабры содержали свинец в количестве почти на порядок превышающем таковое в почках [Гашкина и др., 2022]. При исследовании пресноводных рыб из рек и озёр Европейской части России эти же авторы отмечали, что видоспецифичность в накоплении Pb рыбами не прослеживается [Moiseenko, Gashkina, 2020].

Изученные виды рыб Баренцева моря мало различались между собой по содержанию Pb как в мышцах, так и печени. Вместе с тем содержание Pb в мышцах рыб сем. Камбаловых по сравнению с сем. Тресковых оказалось незначительно, но достоверно ниже. Наиболее заметно по уровню содержания Pb в мышцах и печени от трески и пикши отличалась камбала-ёрш.

Пониженное содержание Pb в мышцах Камбаловых рыб по сравнению с Тресковыми может быть следствием адаптации к обитанию в среде с более

<sup>3</sup> E.U. 2011. Commission Regulation (EU) No 420/2011 of 29 April 2011 amending Regulation (EC) No 1881/2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. Off. J. Eur. Union 49 (L111). P. 3–6. <https://www.legislation.gov.uk/eur/2011/420>

высоким содержанием этого металла. Жизнь Камбаловых рыб тесно связана с донными осадками. Известно, что ТМ и другие загрязняющие вещества, поступающие в водоёмы, аккумулируются в донных отложениях. Возможно, в процессе эволюции в организме Камбаловых рыб сформировались механизмы, способствующие более активному выведению Pb, поступающего через жабры и с пищей. Не исключено, что более низкое содержание Pb в мышцах Камбаловых рыб может быть результатом перераспределением металла в другие органы. По опубликованным данным Pb в мышцах рыб содержится в меньших количествах, чем в органах. Исследование рыб из Каспийского моря показало, что наиболее высокое содержание Pb наблюдалось в жабрах и почках [Ершова и др., 2021]. Накопление Pb в жабрах, по мнению авторов приведенной публикации, обусловлено респираторной и барьерной функцией этого органа. Показано, что в организме пресноводных рыб Pb в наибольших количествах также аккумулируется в почках [Моисеенко, 2015; Moiseenko, Gashkina, 2020]. У лососевых Pb и Cd длительное время сохраняются в почках и после окончания воздействия (экспозиции) [Phillips, Rainbow, 1989].

Сказанное выше говорит о том, что уровень содержания Pb в мышцах и печени рыб трудно поддается объяснению и прогнозированию и, вероятно, в значительной мере определяется региональными особенностями. Можно предположить, что накопление Pb будет меньше у рыб из районов, традиционно связанных с поступлением антропогенного загрязнения вследствие адаптации гидробионтов, например, выработки гомеостатического контроля содержания ТМ [Моисеенко, 2015; Гашкина и др., 2022].

Воздействие Pb на рыб вызывает множество токсических эффектов, влияет на физиологические и биохимические функции. Накопление Pb в организме рыб вызывает окислительный стресс, изменения в иммунных реакциях, негативно воздействует на центральную и периферическую нервную систему, кроветворение и др. Токсичность Pb в сочетании с возможностью заменять такие двухвалентные катионы к  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ , а также одновалентный катион  $\text{Na}^{+}$  приводит к нарушению метаболизма клетки. При этом происходят значительные изменения в различных биологических процессах таких как клеточная адгезия, внутри- и межклеточная сигнализация, сворачивание белков, созревание, апоптоз, ионный транспорт, регуляция ферментов и высвобождение нейротрансмиттеров [García-Leston et al., 2010; Mager, 2012; Jaishankar et al., 2014; Lee et al., 2019; Moiseenko, Gashkina, 2020].

Содержание Pb в мышцах и печени исследованных нами рыб не зависело от их трофического статуса. В то же время, анализ результатов ряда исследований, указывает на возможность накопления Pb в морских пищевых цепях при переходе от низких к более высоким трофическим уровням, за исключением высших хищников. Особенно заметна биомагнификация Pb при переходе от первичных продуцентов к консументам первого порядка [Sun et al., 2020]. У позвоночных животных Pb в основном хранится в костях, что снижает риск его передачи другим организмам пищевой цепи [Bjerregaard et al., 2014; Karl et al., 2016].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенных исследований показано, что для промысловых рыб Баренцева моря характерно относительно высокое содержание Pb в мышцах и печени. Однако, случаи превышения норматива содержания Pb (1,0 мг/кг) в печени трески, камбалы-ерша, чёрного палтуса и пёстрой зубатки были единичны. Признаки антропогенного загрязнения исследованных промысловых рыб свинцом не обнаружены.

Предложены расчётные фоновые уровни содержания свинца в мышцах промысловых рыб Баренцева моря. Фоновые уровни отражают современное естественное содержание Pb в ихтиофауне региона и могут быть использованы для выявления антропогенного воздействия на экосистему.

Содержание Pb в печени исследованных рыб в среднем в 2,4 раза превышало её содержание в мышцах. Связь уровня накопления Pb с уровнем содержания жира в мышцах и печени исследованных рыб не выявлена.

Отмечено, что содержание Pb в мышцах и печени камбалы-ерша было достоверно ниже, чем у остальных исследованных рыб. Максимальный уровень накопления Pb в печени наблюдался у чёрного палтуса – в 2,7 раза выше, чем в мышцах. Однако, в целом, видоспецифичность способности к накоплению Pb в промысловых рыбах Баренцева моря не выявлена. В то же время, статистически обосновано предположение о вероятной связи уровня содержания Pb с таксономическим положением объекта: в Камбаловых рыбах его содержание в мышцах достоверно ниже, чем в Тресковых.

Уровень содержания Pb в мышцах и печени рыб трудно поддается объяснению и прогнозированию (исключая случаи очевидного антропогенного загрязнения). Вероятно, в значительной мере, его следует связывать с региональной спецификой – условиями существования и эволюцией ихтиофауны в отдельных водоёмах (регионах).

## Благодарности

Авторы благодарят главного специалиста лаборатории химико-аналитических исследований «ПИНРО» им. Н.М. Книповича Лаптеву А.М. за неоценимую помощь в химическом анализе проб рыбы на содержание свинца.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

## Финансирование

Работа выполнена в рамках выполнения государственного задания ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» на базе Полярного филиала («ПИНРО» им. Н.М. Книповича).

## ЛИТЕРАТУРА

- Васильков Г.В., Грищенко Л.И., Енгашев В.Г. 1989. Болезни рыб. Справочник / В.С. Осетров ред. М.: Агропромиздат. 288 с.
- Гашкина Н.А., Моисеенко Т.И., Шуман Л.А., Королева И.М. 2022. Роль микроэлементов в адаптации метаболизма рыб к снижению загрязнения (на примере субарктического оз. Имандра) // Геохимия. Т. 67, № 2. С. 119-135. DOI: 10.31857/S0016752522020054
- Диагностический анализ состояния окружающей среды Арктической зоны Российской Федерации. 2011. / Б.А. Моргунов ред. М.: Научный мир. 1260 с.
- Долгов А.В. 2016. Состав, формирование и трофическая структура ихтиоценозов Баренцева моря. Мурманск: ПИНРО. 336 с.
- Дорохова И.И., Кузьминова Н.С., Руднева И.И., Болдырев Д.А. 2012. Содержание тяжёлых металлов и биоиндикаторы состояния печени некоторых видов черноморских рыб // Ветеринарная медицина. Вып. 96. С. 288-290.
- Ершова Т.С., Зайцев В.Ф., Чаплыгин В.А. 2021. Особенности миграции свинца в экосистеме Каспийского моря // Учёные записки Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. Биология. Химия. Т. 7 (73), № 4. С. 3-22.
- Израэль Ю.А., Цыбань А.В. 2009. Антропогенная экология океана. М.: Флинта. 532 с.
- Изучение экосистем рыбохозяйственных водоёмов, сбор и обработка данных о водных биологических ресурсах, техника и технологии их добычи и переработки. 2004. Вып. 1. Инструкции и методические рекомендации по сбору и обработке биологической информации в морях Европейского Севера и Северной Атлантики. М.: ВНИРО. 299 с.
- Ковековдова Л.Т., Кику Д.П., Касьяненко И.С. 2015. Мониторинг содержания металлов и мышьяка в промысловых рыбах и морской воде дальневосточных морей // Рыбное хозяйство. № 2. С. 18-24.
- Ковековдова Л.Т., Кику Д.П., Касьяненко И.С. 2016. Мониторинг водной среды и безопасности промысловых объектов в дальневосточном рыбохозяйственном бассейне (токсичные элементы) // Морские биологические исследования: достижения и перспективы. В 3-х т. Мат. Всеросс. научн.-практ. конф. с межд. участием, приуроченной к 145-летию Севастопольской биологической станции. Севастополь: Изд-во ЭКОСИ-Гидрофизика. Т. 3. С. 111-114.
- Константинова Л.Л., Двинин Ю.Ф., Лебская Т.К., Кузьмина В.И. 1997. Технохимические свойства промысловых рыб Северной Атлантики и прилегающих морей Северного Ледовитого океана. Мурманск: Изд-во ПИНРО. 183 с.
- Моисеенко Т.И. 2015. Влияние геохимических факторов водной среды на биоаккумуляцию металлов в организме рыб // Геохимия. № 3. С. 222-233.
- Морозов Н.П., Петухов С.А. 1986. Микроэлементы в промысловой ихтиофауне Мирового океана. М.: Агропромиздат. 160 с.
- Мур Дж. В., Рамамурти С. 1987. Тяжелые металлы в природных водах. Контроль и оценка влияния. М.: Мир. 288 с. (Moore J., Ramamoorthy S. 1984. Heavy metals in natural waters. Applied Monitoring and Impact Assessment. Springer-Verlag, New York-Berlin-Heidelberg-Tokyo.)
- Новиков М.А., Горбачева Е.А., Лаптева А.М. 2021. Содержание мышьяка в промысловых рыбах Баренцева моря (по многолетним данным) // Известия ТИНРО. Т. 201. № 4. С. 833-844. DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-833-844
- Новиков М.А., Горбачева Е.А., Харламова М.Н. 2023. Содержание ртути в промысловых рыбах Баренцева моря (по многолетним данным) // Труды ВНИРО. Т. 191. С. 112-123. DOI: 10.36038/2307-3497-2023-191-112-1
- Новиков М.А., Горбачева Е.А., Харламова М.Н. 2024. Содержание кадмия в промысловых рыбах Баренцева моря (по многолетним данным) // Труды ВНИРО. Т. 198. С. 87-99. DOI: 10.36038/2307-3497-2024-198-87-99
- Родюк Г.Н., Чукалова Н.Н., Шендерюк В.В., Бахолдина Л.П., Чернышева Н.Л., Саядов С.О. 2012. Встречаемость язвенного поражения кожи у трески (*Gadus morhua callarias* L.) в условиях антропогенного загрязнения юго-восточной части Балтийского моря // Биология внутренних вод. № 1. С. 100-106.
- Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши 1977. / А.Д. Семенов ред. Л.: Гидрометеиздат. 541 с.
- Филенко О.Ф., Михеева И.В. 2007. Основы водной токсикологии. М.: Колос. 144 с.
- Христофорова Н.К. 1989. Биоиндикация и мониторинг загрязнения морских вод тяжёлыми металлами. Л.: Наука. 192 с.
- Христофорова Н.К., Литвиненко А.В., Алексеев М.Ю., Цыганков В.Ю. 2023. Микроэлементный состав горбуши из рек баренцевоморского и охотоморского бассейнов // Российский журнал биологических инвазий. № 2. С. 272-287. DOI: 10.35885/1996-1499-16-2-272-287

- Шунтов В.П., Тёмных О.С. 2008. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах. Владивосток: ТИПРО-центр. Т. 1. 482 с.
- Abel P.D. 1996. Water pollution biology. London: Taylor & Francis Ltd. 296 p. DOI: 10.1201/9781482295368
- Bjerregaard P., Andersen C., Andersen O. 2014. Ecotoxicology of metals – sources, transport, and effects on the ecosystem // Handbook on the Toxicology of Metals / G.F. Nordberg, B.A. Fowler, M. Nordberg eds. Elsevier Science, Amsterdam. P. 425-459.
- Campbell P.G.C. 1995. Interactions between trace metals and aquatic organisms: a critique of the free-ion activity model // Metal Speciation and Bioavailability in Aquatic Systems / A. Tessier, D.R. Turner eds. Wiley. P. 45-102.
- Clark R.B. 2011. Marine pollution. Fifth edition. Oxford University Press. USA. 230 p.
- Dietz R., Riget F., Johansen P. 1996. Lead, cadmium, mercury and selenium in Greenland marine animals // The Science of the Total Environment. V. 186. P. 67-93.
- Heath A.G. 2002. Water Pollution and Fish Physiology. Lewis Publishers. 506 p.
- Hodson P.V. 1988. The effect of metabolism on uptake, disposition and toxicity in fish // Aquatic Toxicology. V. 11. P. 3-18.
- Ervik H., Erik T.F., Munro B.J. 2018. Toxic and Essential Elements in Seafood from Mausund, Norway // Environ. Sci. Pollut. V. 25(8). P. 7409-7417. DOI: 10.1007/s11356-017-1000-4
- Garcia-Leston J., Mendez J., Pasaro E., Laffon B. 2010. Genotoxic effects of lead: an updated review // Environ. Int. M. V. 36 (6). P. 623-636. DOI: 10.1016/j.envint.2010.04.011.
- Jaishankar M., Tseten T., Anbalagan N., Mathew B.B., Beeregowda K.N. 2014. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals // Interdiscip. Toxicol. V. 7(2). P. 60-72. DOI: 10.2478/intox-2014-0009
- Julshamn K., Duinker A., Nilsen B.M., Frantzen S., Maage A., Valdernes S., Nedreaas K. 2013. A baseline study of levels of mercury, arsenic, cadmium and lead in Northeast Arctic cod (*Gadus morhua*) from different parts of the Barents Sea // Mar. Poll. Bull. V. 67. Iss. 1-2. P. 187-195. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2012.11.038
- Karl H., Kammann U., Aust M.-O., Manthey-Karl M., Lüth A., Kanisch G. 2016. Large scale distribution of dioxins, PCBs, heavy metals, PAH-metabolites and radionuclides in cod (*Gadus morhua*) from the North Atlantic and its adjacent seas // Chemosphere. V. 149. P. 294-303. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2016.01.052
- Kim J.H., Kang J.C. 2015. The lead accumulation and hematological findings in juvenile rock fish *Sebastes schlegelii* exposed to the dietary lead (II) concentrations // Ecotoxicology and Environmental Safety. V. 115. P. 33-39. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2015.02.009
- Kumar A., Cabral-Pinto M.M.S., Chaturvedi A.K., Shabnam A.A., Subrahmanyam G., Mondal R., Gupta D.K., Malyan S.K., Kumar S.S., Khan A.S., Yadav K.K. 2020. Lead Toxicity: Health Hazards, Influence on Food Chain, and Sustainable Remediation Approaches // Int. J. Environ. Res. Public Health. V. 17(7):2179. DOI: 10.3390/ijerph17072179
- Lee J.W., Choi H., Hwang U.K., Kang J.C., Kang Y.J., Kim K.I., Kim J.H. 2019. Toxic effects of lead exposure on bioaccumulation, oxidative stress, neurotoxicity, and immune responses in fish: A review // Environ. Toxicol. Pharmacol. V. 68. P. 101-108. DOI: 10.1016/j.etap.2019.03.010
- Mager E.M. 2012. Lead. Homeostasis and Toxicology of Non-Essential Metals. Fish Physiology. V. 31A. / C.M. Wood, A.P. Farrell, C.J. Brauner eds. Amsterdam: Academic Press. P. 186-237.
- Mauffret A., Chouvelon T., Wessel N., Cresson P., Bănaru D., Baudrier J., Bustamante P., Chekri R., Jitaru P., Le Loc'h F., Mialet B., Vaccher V., Harmelin-Vivien M. 2023. Trace elements, dioxins and PCBs in different fish species and marine regions: Importance of the taxon and regional features // Environmental Research. V. 216, Part 3:114624. DOI: 10.1016/j.envres.2022.114624
- Moiseenko T.I., Gashkina N.A. 2020. Distribution and Bioaccumulation of Heavy Metals (Hg, Cd and Pb) in Fish: Influence of the Aquatic Environment and Climate // Environ. Res. Lett. V. 15:115013. DOI: 10.1088/1748-9326/abbf7c
- Phillips D.J.H., Rainbow P.S. 1989. Strategies of trace metal sequestration in aquatic organisms // Marine Environment Research. V. 49. P. 83-93.
- Sun T., Wu H., Wang X., Ji C., Shan X., Li F. 2020. Evaluation on the biomagnification or biodilution of trace metals in global marine food webs by meta-analysis // Environ. Pollut. V. 264:113856. DOI: 10.1016/j.envpol.2019.113856
- Whitfield A.K., Elliott M. 2002. Fish as indicators of environmental and ecological changes within estuaries: a review of progress and some suggestions for the future // J. Fish Biol. V. 61. P. 229-250. DOI: 10.1006/jfbi.2002.2079
- Yeom D.-H., Adams S.M. 2007. Assessing effects of stress across levels of biological organization using an aquatic ecosystem health index // Ecotoxicol. Environ. Saf. V. 67 (2). P. 286-295. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2006.07.006

## REFERENCES

- Vasil'kov G.V. Grishchenko L.I., Engashev V.G. 1989 Fish diseases. Handbook / V.S. Osetrov. ed. Moscow: Agropromizdat. 288 p. (In Russ.).
- Gashkina N.A., Moiseenko T.I., Shuman L.A., Koroleva I.M. The role of trace elements in the adaptation of fish metabolism under reduced pollution: a case study of the subarctic Lake Imandra // Geochemistry International. 2022. V. 60. № 2. C. 154-169. DOI: 10.1134/S0016702922020057 (In Russ.).
- Diagnostic analysis of the state of the environment in the Arctic zone of the Russian Federation. 2011 / B.A. Morgunov ed. Moscow: Nauchnyy mir. 1260 p. (In Russ.).
- Dolgov A.V. 2016. Composition, formation and trophic structure of the Barents Sea fish communities. Murmansk: PINRO Publish. 336 pp. (In Russ.).

- Dorohova I.I., Kuzminova N.S., Rudneva I.I., Boldyrev D.A. Contents of heavy metals and bioindicators of liver condition of some black sea fishes // Veterinarna medicina. Vyp. 96. P. 288-290. (In Russ.).
- Ershova T.S., Zaitsev V.F., Chaplygin V.A. 2021. Features of lead migration in the Caspian Sea ecosystem // Ucheny'e zapiski Kry'mskogo federal'nogo universiteta im. V.I. Vernadskogo. Biology. Chemistry. V. 7 (73), No. 4. P. 3-22. (In Russ.).
- Israel Yu.A., Tsyban A.V. Anthropogenic ecology of the ocean. 2009. Moscow: Flinta. 532 p. (In Russ.).
- Study of ecosystems of fishery water reservoirs, collection and processing of data on aquatic biological resources, techniques and technology for their extraction and processing. 2004. Instructions and guidelines for the collection and processing of data on the seas of the European North and the North Atlantic. M.: VNIRO Publish. 299 p. (In Russ.).
- Kovekovdova L.T., Kiku D.P., Kasyanenko I.S. 2015. Monitoring of metals and arsenic content in commercial fish and sea water of Far East // Rybnoe hozyaystvo. N 2. P. 18-24. (In Russ.).
- Kovekovdova L.T., Kiku D.P., Kasyanenko I.S. 2016. Monitoring of water environment and food safety of commercial objects in the Far East fishery basin (toxic elements) // Marine biological research: achievements and prospects. In 3 V. Proc. All-Russian scient.-prac. conf. with intern. participation to the 145th anniversary of the Sevastopol Biological Station. Sevastopol: ECOSI-Hydrophysics. V.3. P. 111-114. (In Russ.).
- Konstantinova L.L., Dvinin Yu.F., Lebskaya T.K., Kuz'mina V.I. 1997. Technochemical properties of commercial fish of the North Atlantic and adjacent seas of the Arctic Ocean. Murmansk: PINRO Publsh. 183 p. (In Russ.).
- Moiseenko T.I. 2015. The influence of geochemical factors of the aquatic environment on the bioaccumulation of metals in the body of fish // Geokhimiya. No. 3. P. 222-233. (In Russ.).
- Morozov N.P., Petukhov S.A. 1986. Trace elements in the commercial ichthyofauna of the World Ocean. Moscow: Agropromizdat. 160 p. (In Russ.).
- Moore J., Ramamoorthy S. 1987. Heavy metals in natural waters: Applied monitoring and impact assessment. Moscow: Mir. 288 p. (In Russ.).
- Novikov M.A., Gorbacheva E.A., Lapteva A.M. 2021. Arsenic content in commercial fish of the Barents Sea (according to long-term data) // Izvestiya TINRO. V. 201, № 4. P. 833-844. DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-833-844. (In Russ.).
- Novikov M.A., Gorbacheva E.A., Kharlamova M.N. 2023. Mercury content in commercial fish of the Barents Sea (according to long-term data) // Trudy VNIRO. V. 191. P. 112-123. DOI: 10.36038/2307-3497-2023-191-112-1. (In Russ.).
- Novikov M.A., Gorbacheva E.A., Kharlamova M.N. 2024. Cadmium content in commercial fish of the Barents Sea (according to long-term data) // Trudy VNIRO. V. 198. C. 87-99. DOI: 10.36038/2307-3497-2024-198-87-99. (In Russ.).
- Rodyuk G.N., Chukalova N.N., Shenderyuk V.V., Bakholdina L.P., Chernysheva N.L., Sayadov S.O. 2012. Occurrence of ulcerative skin lesions in cod (*Gadus morhua callarias* L.) under anthropogenic pollution conditions in the southeastern Baltic Sea // Biologiya vnutrennix vod. No. 1. P. 100-106. (In Russ.).
- Guide to chemical analysis of land surface waters. 1977. / A.D. Semenov ed. Leningrad: Gidrometeoizdat, 541 p. (In Russ.).
- Filenko O.F., Mikheeva I.V. 2007. Fundamentals of aquatic toxicology. Moscow: Kolos. 144 p. (In Russ.).
- Khristoforova N.K. 1989. Bioindication and monitoring of sea water pollution with heavy metals. Lenindrad: Nauka. 192 p. (in Russ.).
- Khristoforova N.K., Litvinenko A.V., Alekseev M.Yu., Tsygankov V.Yu. 2023. Trace element content in the pink salmon from the rivers of the Barents and Okhotsk seas basins // Rossijskij zhurnal biologicheskix invazij. No 2. P. 272-287. (In Russ.). DOI: 10.35885/1996-1499-16-2-272-287
- Shuntov V.P., Temnykh O.S. 2008. Pacific salmon in marine and oceanic ecosystems. Vladivostok: TINRO-center. V. 1. 482 p. (In Russ.).
- Abel P.D. 1996. Water pollution biology. London: Taylor & Francis Ltd. 296 p. DOI: 10.1201/9781482295368
- Bjerregaard P., Andersen C., Andersen O. 2014. Ecotoxicology of metals – sources, transport, and effects on the ecosystem // Handbook on the Toxicology of Metals / G.F. Nordberg, B.A. Fowler, M. Nordberg eds. Elsevier Science, Amsterdam. P. 425-459.
- Campbell P.G.C. 1995. Interactions between trace metals and aquatic organisms: a critique of the free-ion activity model // Metal Speciation and Bioavailability in Aquatic Systems / A. Tessier, D.R. Turner eds. Wiley. P. 45-102.
- Clark R.B. 2011. Marine pollution. Fifth edition. Oxford University Press. USA. 230 p.
- Dietz R., Riget F., Johansen P. 1996. Lead, cadmium, mercury and selenium in Greenland marine animals // The Science of the Total Environment. V. 186. P. 67-93.
- Heath A.G. 2002. Water Pollution and Fish Physiology. Lewis Publishers. 506 p.
- Hodson P.V. 1988. The effect of metabolism on uptake, disposition and toxicity in fish // Aquatic Toxicology. V. 11. P. 3-18.
- Ervik H., Erik T.F., Munro B.J. 2018. Toxic and Essential Elements in Seafood from Mausund, Norway // Environ. Sci. Pollut. V. 25(8). P. 7409-7417. DOI: 10.1007/s11356-017-1000-4
- Garcia-Leston J., Mendez J., Pasaro E., Laffon B. 2010. Genotoxic effects of lead: an updated review // Environ. Int. M. V. 36 (6). P. 623-636. DOI: 10.1016/j.envint.2010.04.011.
- Jaishankar M., Tseten T., Anbalagan N., Mathew B.B., Beeregowda K.N. 2014. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals // Interdiscip. Toxicol. V. 7(2). P. 60-72. DOI: 10.2478/intox-2014-0009
- Julshamn K., Duinker A., Nilsen B.M., Frantzen S., Maage A., Valdersnes S., Nedreaas K. 2013. A baseline study of levels

- of mercury, arsenic, cadmium and lead in Northeast Arctic cod (*Gadus morhua*) from different parts of the Barents Sea // *Mar. Poll. Bull.* V. 67. Iss. 1-2. P. 187-195. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2012.11.038
- Karl H., Kammann U., Aust M.-O., Manthey-Karl M., Lüth A., Kanisch G. 2016. Large scale distribution of dioxins, PCBs, heavy metals, PAH-metabolites and radionuclides in cod (*Gadus morhua*) from the North Atlantic and its adjacent seas // *Chemosphere.* V. 149. P. 294-303. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2016.01.052
- Kim J.H., Kang J.C. 2015. The lead accumulation and hematological findings in juvenile rock fish *Sebastes schlegelii* exposed to the dietary lead (II) concentrations // *Ecotoxicology and Environmental Safety.* V. 115. P. 33-39. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2015.02.009
- Kumar A., Cabral-Pinto M.M.S., Chaturvedi A.K., Shabnam A.A., Subrahmanyam G., Mondal R., Gupta D.K., Malyan S.K., Kumar S.S., Khan A.S., Yadav K.K. 2020. Lead Toxicity: Health Hazards, Influence on Food Chain, and Sustainable Remediation Approaches // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* V. 17(7):2179. DOI: 10.3390/ijerph17072179
- Lee J.W., Choi H., Hwang U.K., Kang J.C., Kang Y.J., Kim K.I., Kim J.H. 2019. Toxic effects of lead exposure on bioaccumulation, oxidative stress, neurotoxicity, and immune responses in fish: A review // *Environ. Toxicol. Pharmacol.* V. 68. P. 101-108. DOI: 10.1016/j.etap.2019.03.010
- Mager E.M. 2012. Lead. Homeostasis and Toxicology of Non-Essential Metals. *Fish Physiology.* V. 31A. / C.M. Wood, A.P. Farrell, C.J. Brauner eds. Amsterdam: Academic Press. P. 186-237.
- Mauffret A., Chouvelon T., Wessel N., Cresson P., Bănaru D., Baudrier J., Bustamante P., Chekri R., Jitaru P., Le Loc'h F., Mialet B., Vaccher V., Harmelin-Vivien M. 2023. Trace elements, dioxins and PCBs in different fish species and marine regions: Importance of the taxon and regional features // *Environmental Research.* V. 216, Part 3:114624. DOI: 10.1016/j.envres.2022.114624
- Moiseenko T.I., Gashkina N.A. 2020. Distribution and Bioaccumulation of Heavy Metals (Hg, Cd and Pb) in Fish: Influence of the Aquatic Environment and Climate // *Environ. Res. Lett.* V. 15:115013. DOI: 10.1088/1748-9326/abbf7c
- Phillips D.J.H., Rainbow P.S. 1989. Strategies of trace metal sequestration in aquatic organisms // *Marin Environment Research.* V. 49. P. 83-93.
- Sun T., Wu H., Wang X., Ji C., Shan X., Li F. 2020. Evaluation on the biomagnification or biodilution of trace metals in global marine food webs by meta-analysis // *Environ Pollut.* V. 264:113856. DOI: 10.1016/j.envpol.2019.113856
- Whitfield A.K., Elliott M. 2002. Fish as indicators of environmental and ecological changes within estuaries: a review of progress and some suggestions for the future // *J. Fish Biol.* V. 61. P. 229-250. DOI: 10.1006/jfbi.2002.2079
- Yeom D.-H., Adams S.M. 2007. Assessing effects of stress across levels of biological organization using an aquatic ecosystem health index // *Ecotoxicol. Environ. Saf.* V. 67 (2). P. 286-295. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2006.07.006

Поступила в редакцию 16.04.2025 г.  
Принята после рецензии 04.06.2025 г.



УДК 664.951.4:597.556.334

## Технология переработки водных биоресурсов

# Консервы «Паштет из сайры тихоокеанской» и их значение в питании человека

Л.В. Шульгина, Е.В. Якуш, А.Р. Бутенко

Тихоокеанский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), пер. Шевченко, 4, г. Владивосток, 690091

E-mail: lvshulgina@mail.ru

SPIN-коды: Л.В. Шульгина – 1979-4975; Е.В. Якуш – 5481-6044; А.Р. Бутенко – 6590-5633.

**Цель работы:** разработать новый ассортимент консервов – паштетов из сайры тихоокеанской и дополнительных компонентов, улучшающих вкусовые и качественные характеристики, оценить их пищевую ценность и биологическую эффективность липидов.

**Материалы и методы:** основными объектами для исследований являлись мороженая сайра тихоокеанская и изготовленные из неё консервы – паштеты. Для оценки положительного влияния консервов на здоровье человека исследован их жирно-кислотный состав и рассчитаны пищевые индексы качества липидов.

**Результаты:** разработаны 2 ассортимента консервов «Паштет из сайры тихоокеанской» из рыбы без предварительной тепловой обработки, которые по органолептическим свойствам превосходят традиционный вид консервов – паштетов, включающих фарш бланшированной сайры. Количество ПНЖК омега-3 в содержимом консервов составляло 4,6-4,8 г/100 г, ЭПК+ДГК – 3,0-3,16 г/100 г, что полностью обеспечивало суточную потребность здорового и больного человека в них. Рассчитанные показатели биологической эффективности жирового компонента продуктов показали потенциальную способность их нормализовать липидный обмен у человека и снижать риск развития заболеваний сердечно-сосудистой системы.

**Практическая значимость:** консервы «Паштет из сайры тихоокеанской» предложены для промышленного выпуска и могут быть рекомендованы для включения в рацион отдельных групп населения как продукты для диетического профилактического питания.

**Новизна работы:** элементами новизны научной работы является расчёт индексов качества липидов новых видов паштетных консервов из сайры тихоокеанской, которые характеризуют положительное влияние новых продуктов на здоровье человека.

**Ключевые слова:** сайра тихоокеанская *Cololabis saira*, консервы – паштеты, пищевая ценность, биологическая эффективность, ПНЖК омега-3, индексы качества липидов.

## Pate canned Pacific saury and its importance in human nutrition

Liliya V. Shulgina, Evgeniy V. Yakush, Alexandr R. Butenko

Pacific branch of VNIRO («ТИНРО»), 4, per. Shevchenko, Vladivostok, 690091, Russia

**The aim:** To develop a new range of canned products – pates from raw Pacific saury and additional components that improve taste and quality characteristics, to evaluate their nutritional value and biological efficiency of lipids.

**Materials and methods:** The main objects of the research were frozen Pacific saury and canned pates made from it. To assess the positive impact of canned food on human health, their fatty acid composition was studied and food indices of lipid quality were calculated.

**The results:** Two assortments of canned food “Pacific saury pate” have been developed from fish without preliminary heat treatment, which surpass the traditional type of canned food-pates, including blanched saury mince, in terms of organoleptic properties. The amount of omega-3 PUFA in the contents of the canned food was 4.6-4.8 g/100 g, EPA+DHA – 3.0-3.16 g/100 g, which fully met the daily requirement of a healthy and sick person for them. The calculated indicators of the biological efficiency of the fat component of the products showed their potential ability to normalize lipid metabolism in humans and reduce the risk of cardiovascular diseases.

**The practical significance:** Canned food “Pacific saury pate” is proposed for industrial production and can be recommended for inclusion in the diet of certain groups of the population as products for dietary preventive nutrition.

**Novelty:** The novelty of the scientific work is the calculation of lipid quality indices of new types of pate canned Pacific saury, which characterize the positive impact of new products on human health.

**Keywords:** Pacific saury *Cololabis saira*, canned pate, nutritional value, biological efficiency, omega-3 PUFA, lipid quality indices.

## ВВЕДЕНИЕ

Тихоокеанская сайра (*Cololabis saira* (Brevoort, 1856)) является одним из наиболее важных традиционных промысловых видов северо-западной части Тихого океана [Акулин и др., 2022]. Величина рекомендуемого изъятия сайры тихоокеанской в дальневосточном рыбохозяйственном регионе в последние годы составляла 110 тыс. т. Основная часть уловов сайры в мороженом виде направляется на производство натуральных консервов и натуральных с добавлением масла. При стерилизации таких консервов из сайры тихоокеанской происходит отделение бульона и жира от плотной части до 30%. Обычно потребителем используется только плотная часть консервов, а отделившийся жир чаще всего не употребляется. В структурированном рыбном продукте, например, в виде паштета, отделения жидкой части не происходит. В ГОСТ 7457<sup>1</sup> предусмотрен ассортимент «Паштет из сайры», в состав которого входит фарш из бланшированной рыбы. Однако при бланшировании сайры тихоокеанской происходит отделение влаги и жира, потери массы составляют 11-17% и увеличивается расход сырья на единицу готовой продукции [Сборник ..., Т. 1, 2012]. Изготовленные по данной технологии консервы характеризуются пониженными органолептическими характеристиками (плотной и крошливой консистенцией), поэтому продукты не пользуются покупательским спросом. Известно, что добавление растительных компонентов в состав фарша из сырой рыбы позволяет значительно улучшить органолептические свойства рыбных консервов – паштетов [Шульгина и др., 2022]. Присутствующие в растительном сырье пищевые волокна и пектиновые вещества обуславливают комплексообразующие, желатинирующие и другие свойства продуктов, а также повышают вкусоароматические характеристики [Патиева, Лисовицкая, 2016].

Разработка консервированных продуктов «Паштет из сайры тихоокеанской» с использованием растительных компонентов позволит расширить линейку стерилизованной рыбной продукции с сохранением ценных липидов.

**Целью** настоящей работы явилась разработка нового ассортимента консервов – паштетов из сайры тихоокеанской и дополнительных компонентов, улучшающих вкусовые и качественные характеристики, оценка их пищевой ценности и биологической эффективности липидов.

<sup>1</sup> ГОСТ 7457-2007. Консервы-паштеты из рыбы. Технические условия. 2009. М.: Стандартинформ. 8 с.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Для проведения исследований были использованы мороженая сайра тихоокеанская и изготовленные из неё консервы – паштеты. Рыба была заготовлена в Южно-Курильской зоне на НИС Профессор «Леванидов» по ТУ 10.20.13-383-004720012-2017,<sup>2</sup> разработанным в ТИПРО, заморожена в блоках по 10,0 кг, срок хранения составлял не более 2 мес. при температуре минус 18°C. Содержание белков в сайре составляло 20,1±1,3%, жира – 14,0±0,8%.

Размораживание и подготовку рыбы, материалов и тары, фасование, эксгаустирование и закатывание банок, стерилизацию и охлаждение, мойку и сушку консервов проводили согласно технологической инструкции по производству рыбных консервов [Сборник ..., Т. 2, 2012].

Предварительно были разработаны режимы стерилизации консервов, обеспечивающие промышленную стерильность. Контроль измерения температуры и фактического стерилизующего эффекта осуществляли на приборе СТ-9004 фирмы «Эллаб» (Дания).

Подготовку проб к анализу и определение содержания воды, белков, жира и минеральных веществ осуществляли методами по ГОСТ 7636<sup>3</sup>.

Изучение фракционного состава липидов проводили методом тонкослойной хроматографии на аналитических пластинках «Sorbfil» («Сорбполимер», Россия) в системе растворителей гексан: диэтиловый эфир: уксусная кислота – 70:30:2 (по объёму) в качестве элюента. Для проявления хроматограмм применяли 10%-ный спиртовой раствор фосфорномолибденовой кислоты с последующим нагреванием пластинок при 110 °С. Идентификацию отдельных классов липидов проводили методом сравнения с нанесёнными на пластинку стандартными соединениями. Для количественного определения применяли программное обеспечение ImageJ (National Institute of Health, США, v.1.47) [Schneider et al., 2012; Laggai et al., 2013].

Для изучения состава жирных кислот липиды переводили в метиловые эфиры жирных кислот [Carreau, Dubacq, 1978], которые, после очистки препаративной тонкослойной хроматографией, анализировали на хроматографе Shimadzu GC-14B (Япония) с использованием капиллярной колонки Supelcowax<sup>TM</sup> 10

<sup>2</sup> ТУ 10.20.13-383-004720012-2017. Сайра тихоокеанская неразделанная мороженая. Технические условия. 2017. Владивосток: ТИПРО. 17 с.

<sup>3</sup> ГОСТ 7636-85. Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа. 2010. М.: Стандартинформ. 87 с.

(30,0 м x 0,32 мм, толщина плёнки 0,25 мкм, Supelco, США) и пламенно-ионизационного детектора при температуре колонки 190 °С и температуре инжектора и детектора 240 °С. В качестве газа-носителя использовали гелий, со скоростью потока 1 мл/мин. и делителем потока 1/60. Идентификацию жирных кислот проводили с использованием индексов эквивалентной длины цепи [Christie, 1988]. Содержание отдельных жирных кислот определяли по площадям пиков с помощью базы обработки данных Shimadzu Chromatorac C-R4A (Япония).

Для оценки биологической эффективности липидного компонента консервов – паштетов из сайры использовали специальные показатели, включая соотношения ПНЖК/НЖК,  $\sum$ ПНЖК n-3/ $\sum$ ПНЖК n-6, а также пищевые индексы качества липидов («health lipid indices»): атерогенный (AI), тромбогенный (TI), гипохолестеринемический (H/H), общего качества липидов продукта (FLQ). В основу их расчётов положены соотношения отдельных групп и индивидуальных жирных кислот, которые выполняют различную физиологическую функцию и обуславливают положительное воздействие на организм человека [Ulbricht, Southgate, 1991; Pleadin et al., 2017; Kocatepe et al., 2019; Chen, Liu, 2020].

Для обеспечения достоверности полученных экспериментальных данных аналитические определения проводили в 3-кратной повторности с последующей обработкой полученных результатов методами мате-

матической статистики с использованием компьютерной программы «Microsoft Excel» 2014.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Предварительно были подготовлены несколько вариантов рецептур консервов – паштетов из сайры тихоокеанской. Наилучшими органолептическими характеристиками (вкус, консистенция и др.) обладали 2 варианта консервов, в составе исходной смеси которых доля фарша из сайры без предварительной тепловой обработки составляла 60,4% и 65,5%. В качестве дополнительных компонентов в рецептуру этих консервов были введены овощи (лук, морковь), молоко сухое, крахмал, вкусоароматические добавки (соль, пряности), которые способствовали улучшению органолептических показателей продуктов. Ассортименты продуктов отличались тем, что в первом варианте консервов (паштет «Особый») использованы пассерованный лук и морковь, во втором – (паштет «Приморский») – только лук свежий. Параллельно для сравнения были изготовлены образцы традиционного вида консервов – паштетов из бланшированной сайры (контрольный вариант). Состав исходных смесей для паштетных консервов приведён в табл. 1.

Подготовленные сырьё и компоненты тщательно измельчали до паштетной массы и полученную смесь фасовали в металлические банки № 6 массой нетто 245 г, укупоривали на вакуумказначной машине и стерилизовали в автоклаве периодического дей-

Таблица 1. Рецепт консервов «Паштет из сайры тихоокеанской», %

Table 1. Composition of pate canned Pacific saury, %

Компоненты	Содержание компонентов		
	консервы-паштет*	разработанные варианты	
		паштет «Особый»	паштет «Приморский»
Фарш из сайры	-	60,5	65,5
Фарш из бланшированной сайры	85,9	-	-
Подсолнечное масло	10,6	8,9	7,5
Лук свежий	1,8	-	20,0
Лук пассерованный	-	12,0	-
Морковь пассерованная	-	9,7	-
Молоко сухое	-	2,0	2,0
Крахмал	-	1,8	2,0
Сахар	-	1,4	1,3
Соль	1,5	1,5	1,5
Перец душистый	0,1	0,1	0,1
Перец чёрный	0,1	0,1	0,1
Вода	-	2,0	-

Обозначение: \* – ассортимент по ГОСТ 7457<sup>1</sup>

ствия типа АВ по предварительно разработанному режиму стерилизации в соответствии с инструкцией<sup>4</sup> при температуре 120°C в течение 50 мин. (собственно стерилизации). Охлаждение осуществляли водой с противодавлением (0,20 МПа). Величина нормативного стерилизующего эффекта составляла 7,5 усл. мин., что обеспечивало промышленную стерильность консервов.

Готовые опытные варианты консервов представляли собой стерилизованный продукт с приятными вкусом и запахом, нежной, сочной и намазывающейся консистенцией и однородной структурой. Отделения жира или бульона от плотной части продукта или наличие тонкой жировой плёнки не отмечалось. В контрольном варианте консервы – паштеты из сайры были более тёмного цвета, не сочные, имели плотную и крошливую консистенцию.

Срок годности традиционного ассортимента консервов – паштетов<sup>1</sup> из рыбы составляет 18 мес. с даты изготовления. В нашем эксперименте изготовленные опытные и контрольные образцы консервов хранились в течение 22 мес. при температуре 18–20°C. После хранения в опытных образцах консервов органолептические характеристики не изменились, в контрольном варианте консистенция была очень плотная и крошливая.

Химический состав изготовленных консервов из сайры приведён в табл. 2. В результате потери влаги

обусловлено введением в их рецептуру овощей, молока, крахмала и сахара.

Согласно ТР ЕАЭС 040/2016<sup>5</sup>, при контроле продукции из рыб семейства Scomberesocidae обязательным показателем безопасности является «гистамин», содержание которого в консервах не должно превышать 100 мг/кг. В мороженой сайре, используемой для изготовления консервов, содержание гистамина составляло 21,0±2,3 мг/кг. Известно, что гистамин присутствует в тканях живой рыбы, но основная его часть находится в связанном неактивном состоянии [Кизеветтер, Наседкина. 1972]. Образование и накопление гистамина в выловленной рыбе происходит в результате декарбоксилирования свободной аминокислоты гистидина под действием тканевых и микробных ферментов – декарбоксилаз [Afinal et al., 2006]. Гистидин всегда присутствует в мышцах рыб, в том числе в свободном состоянии, а в период автолиза или при технологической обработке его содержание, как и других свободных аминокислот, повышается, что приводит к накоплению гистамина [Серпунина, Бречко, 2011]. Особенностью гистамина является его стойкость к действию высоких температур. Он не разрушается при стерилизации и поэтому полностью сохраняется в рыбных консервах, а при их хранении происходит постепенное восстановление активности (ренатурация) декарбоксилаз, что обуславливает дальнейшее накопление гистамина [Подсосонная, Родина, 2004;

Таблица 2. Химический состав консервов – паштетов из сайры тихоокеанской, %

Table 2. Chemical composition of pate canned Pacific saury, %

Вещества	Содержание		
	консервы-паштет <sup>1</sup>	разработанные варианты консервов	
		паштет «Особый»	паштет «Приморский»
Вода	53,0±1,2	60,4±1,1	62,2±1,2
Белок	24,6±1,1	13,2±0,5	14,2±0,6
Жир	19,0±0,8	18,0±0,7	17,3±0,5
Углеводы	0,2±0	5,2±0,5	4,2±0,3
Минеральные вещества	1,7±0,2	1,1±0,1	1,0±0,1

при бланшировании рыбы содержание белков в контрольном варианте консервов выше, чем в опытных образцах. Жировой компонент всех образцов консервов включал липиды рыбы и подсолнечное масло. Количество углеводов в опытных вариантах консервов

Шульгина и др., 2014]. Нами установлено, что в изготовленных консервах опытных образцов его количество увеличилось до 29,0±1,6 мг/кг, контрольных – до 34,3±1,8 мг/кг. После хранения в течение 22 мес. при температуре 18–20 °С все консервы по этому пока-

<sup>4</sup> Инструкция по разработке режимов стерилизации консервов из рыбы и морепродуктов. 1995. СПб: Гипрорыбфлот. 43 с.

<sup>5</sup> ТР ЕАЭС 040/2016 «О безопасности рыбы и рыбной продукции». Принят решением Совета Евразийской экономической комиссии от 18 октября 2016 года № 162. 71 с.

зателю соответствовали гигиеническим требованиям технического регламента. Однако содержание гистамина в консервах различалось: в опытных образцах – 48,0-50,0 мг/кг, в контрольных – 78,0 мг/кг.

В табл. 3 приведены данные по фракционному составу липидов сайры тихоокеанской и изготовленных из неё консервов – паштетов. Преобладающим классом липидной части сайры, а также содержащего консервов являлись триацилглицерины (табл. 3). Они представляли основную фракцию липидов как в рыбе, так и в подсолнечном масле, поэтому количество их в готовых консервах превышало содержание в рыбе. В липидах сайры оказалось высокое содержание фосфолипидов (19,0%), но в содержимом изготовленных из неё консервов их число значительно ниже. В контрольном образце консервов количество фосфолипидов оказалось в 4 раза меньше, что обусловлено потерями их при бланшировании рыбы и при стерилизации в результате термогидролиза. В опытных вариантах консервов содержание фосфолипидов снизилось лишь в 2 раза, снижение их количества связано только с действием высокой температуры при стерилизации.

Результаты исследования жирно-кислотного состава в консервах из сайры тихоокеанской приведены в табл. 4. По содержанию основных групп жирных кислот (насыщенных, мононенасыщенных и ПНЖК) липиды контрольного и опытных вариантов консервов были близки, но отличались от жирно-кислотного спектра сайры.

Наименьшей по количеству группой жирных кислот являлись насыщенные (НЖК) как в сайре, так и во всех образцах консервов. В рыбе и в консервах, изготовленных по традиционной технологии из бланшированной сайры, сумма НЖК выше, чем в опытных вариантах.

Способностью повышать концентрацию холестерина в крови человека обладают НЖК с длинной цепью – лауриновая (C12:0), миристиновая (тетрадекановая, C14:0) и пальмитиновая (гексадекановая, C16:0) [Garaffo et al., 2011]. Другие НЖК являются биологически нейтральными или быстро окисляются в печени до ацетил-КоА. Количество этих холестерина повышающих жирных кислот в сайре составляло 20,0% от суммы жирных кислот, в консервах контрольного образца – 20,64%, опытных образцов – несколько ниже (18,2% и 18,35%). Наиболее массовой являлась пальмитиновая кислота (16:0), доля которой в группе НЖК достигала 50,0% как в рыбе, так и в изготовленных консервах.

В жире сайры преобладали мононенасыщенные жирные кислоты (МНЖК), содержание ПНЖК – на 6,35% меньше. В опытных и контрольных образцах консервов – паштетов из сайры соотношение МНЖК и ПНЖК можно оценить как 1:1. По содержанию  $\Sigma$ ПНЖК n-3,  $\Sigma$ ПНЖК n-6, ЭПК+ДГК, а также количеству отдельных жирных кислот липиды контрольного и опытных образцов паштетных консервов также близки.

Среди МНЖК липидов сайры и изготовленных паштетных консервов преобладающей являлась цетолениновая (тривиальное наименование) кислота (22:1 n-11), являющаяся цис-изомером докозеновой кислоты. Её содержание в сайре составило 14,22% от общей суммы жирных кислот, в контрольном варианте консервов – 12,25%, в опытных – 12,39% и 12,45%. Второй по количеству в группе МНЖК в сайре и в консервах являлась эйкозеновая (тривиальное – гондолиновая) кислота (20:1 n-11). Она является продуктом окисления цетолениновой кислоты. Её содержание в липидах рыбы составило 11,26% от суммы жирных кислот, в паштетных консервах – около 10,0%. Эти

**Таблица 3.** Состав липидов сайры тихоокеанской и в консервах-паштетах, %  
**Table 3.** Lipid composition of Pacific saury and in canned pates, %

Компоненты	Содержание			
	сайра	консервы-паштеты <sup>1</sup>	разработанные варианты консервов	
			паштет «Особый»	паштет «Приморский»
Триацилглицерины	70,1	84,6	81,3	82,5
Свободные жирные кислоты	3,5	5,0	4,6	4,3
Моно- и диглицерины	4,3	3,1	6,7	6,1
Стерины	3,1	3,0	2,6	2,5
Полярные липиды (фосфолипиды)	19,0	4,3	8,9	8,6

**Таблица 4.** Состав жирных кислот в липидах сайры тихоокеанской и консервов, % от суммы жирных кислот  
**Table 4.** Composition of fatty acids in lipids of Pacific saury and pate canned food, % of the total fatty acids

Жирная кислота		Содержание в липидах			
символ	систематическое название по IUPAC	сайры	консервов-паштет <sup>1</sup>	разработанных консервов	
				паштет «Особый»	паштет «Приморский»
14:0	тетрадекановая	7,78	7,38	6,78	6,83
i-15:0	13-метилтетрадекановая	0,31	0,20	0,27	0,13
ai-15:0		0,10	0,12	0,86	0,45
15:0	пентадекановая	0,69	0,40	0,60	0,49
ai-16:0		0,11	0,67	0,09	0,24
16:0	гексадекановая	12,07	12,58	11,33	11,28
i-17:0	15-метилгексадекановая	0,24	0,20	0,20	0,14
ai-17:0	14- метилгексадекановая	0,18	0,21	0,16	0,13
17:0	гептадекановая	0,41	0,31	0,36	0,29
i-18:0	16 – метилгептадекановая	0,30	0,45	0,26	0,41
ai-18:0	15- метилгептадекановая	0,15	0,06	0,13	0,12
18:0	октадекановая	1,69	1,95	2,00	2,21
19:0	нонодекановая	0,20	0,19	0,17	0,26
20:0	эйкозановая	0,18	0,22	0,16	0,30
	Сумма НЖК	24,41	24,94	23,37	23,28
14:1 n-9	9Z-тетрадеценовая	0,15	0,40	0,13	0,26
16:1 n-7	7Z-гексадеценовая	3,64	1,20	3,17	3,25
16:1 n-5	11Z-гексадеценовая	0,58	0,25	0,50	0,38
17:1 n-9	8Z-гептадеценовая	0,38	0,30	0,33	0,41
18:1 n-9	9Z-октадеценовая	5,14	7,81	7,55	7,71
18:1 n-7	7Z-октадеценовая	0,98	0,54	0,85	0,73
18:1 n-5	9Z-октадеценовая	0,74	0,63	0,65	0,56
20:1 n-11	9Z-эйкозаеновая	11,26	9,68	9,81	9,71
20:1 n-9	11Z-эйкозаеновая	2,90	3,05	2,54	2,62
20:1 n-7	13Z-эйкозаеновая	0,13	0,18	0,11	0,10
20:1 n-5	15Z-эйкозаеновая	0,17	0,93	0,14	0,13
22:1 n-11	11Z-докозаеновая	14,22	12,25	12,39	12,45
22:1 n-9	13Z-докозаеновая	0,70	0,42	0,61	0,52
	Сумма МНЖК	40,97	37,64	38,78	38,83
16:2 n-6	6Z,9Z-гексадекадиеновая	0,17	0,04	0,14	0,25
16:2 n-4	9Z,12Z-гексадекадиеновая	0,96	0,71	0,84	0,81
16:3 n-3	7Z,10Z,13Z-гексадекатриеновая	0,14	0,05	0,10	0,12
16:4 n-1	6Z,9Z,12Z,15Z-гексадекатетраеновая	0,16	0,08	0,14	0,12
18:2 n-6	9Z,12Z-октадекадиеновая	1,75	9,50	9,29	9,15
18:2 n-4	11Z,14Z-октадекадиеновая	0,11	0,2	0,10	0,11
18:3 n-6	6Z,9Z,12Z-октадекатриеновая	0,16	0,13	0,13	0,10
18:3 n-3	9Z,12Z,15Z-октадекатриеновая	1,63	1,3	1,41	1,47
18:4 n-3	6Z,9Z,12Z,15Z-октадекатетраеновая	5,57	4,79	4,85	4,68
20:2 n-6	11Z,14Z-эйкозадиеновая	0,25	0,15	0,22	0,11
20:3 n-6	8Z,11Z,14Z-эйкозатриеновая	0,16	0,10	0,14	0,11
20:3 n-3	11Z,14Z,17Z-эйкозатриеновая	0,18	0,17	0,15	0,24

символ	Жирная кислота систематическое название по IUPAC	сайры	консервов- паштет <sup>1</sup>	Содержание в липидах	
				разработанных консервов	
				паштет «Особый»	паштет «Примор- ский»
20:4 n-6	5Z,8Z,11Z,14Z-эйкозатетраеновая	0,40	0,26	0,35	0,39
20:4 n-3	8Z,11Z,14Z,17Z-эйкозатетраеновая	1,21	1,04	1,05	1,00
20:5 n-3	5Z,8Z,11Z,14Z,17Z-эйкозапентаеновая	7,09	6,30	6,61	6,23
21:5 n-3	6Z,9Z,12Z,15Z,18Z-генэйкозапентаеновая	0,37	0,24	0,32	0,46
22:5 n-6	4Z,7Z,10Z,13Z,16Z-докозапентаеновая	0,22	0,11	0,19	0,17
22:5 n-3	7Z,10Z,13Z,16Z,19Z-докозапентаеновая	1,38	2,2	1,20	1,26
22:6 n-3	4Z,7Z,10Z,13Z,16Z,19Z-докозагексаеновая	12,71	10,97	11,00	11,11
	Сумма ПНЖК	34,62	38,34	37,23	37,89
	Сумма ПНЖК n-3	30,28	27,06	26,69	26,57
	Сумма ПНЖК n-6	2,94	10,29	10,46	10,28
	ЭПК+ДГК	19,8	17,23	17,61	17,34

МНЖК стимулируют в клетках печени человека и гепатоцитах рыб синтез высоконепредельных жирных кислот, в том числе эйкозапентаеновой (ЭПК) и докозагексаеновой (ДГК), что, закономерно, способствует нормализации обменных процессов и замедлению развития атеросклероза у человека [Yang et al., 2017; Østbye et al., 2019; Mjaatveit et al., 2024].

Содержание ПНЖК в липидах всех вариантов консервов на основе сайры оказалось выше, чем в липидах мышечной ткани рыбы. Это обусловлено тем, что в состав продуктов введено подсолнечное масло, являющееся источником линолевой кислоты (18:2 n-6) [Химический ..., 1987]. Содержание ПНЖК в контрольном образце консервов достигало 38,34% от суммы жирных кислот, в опытных – 37,23% и 37,89%, соответственно. Доминирующим семейством в группе ПНЖК как в сайре (30,28% от суммы жирных кислот), так и в консервах из неё, являлись омега-3 жирные кислоты. В контрольном образце консервов их количество составляло 27,06% от суммы жирных кислот, в опытных образцах – практически одинаково (26,61% и 26,57%). В липидах мышечной ткани сайры и консервов основная доля ПНЖК n-3 была представлена физиологически значимыми кислотами – ЭПК (20:5 n-3) и ДГК (22:6 n-6). Количество другого семейства – ПНЖК n-6 в сайре оказалось в 10 раз ниже по сравнению с ПНЖК n-3. В консервах содержание ПНЖК n-6 составляло около 10,0% от общей суммы жирных кислот. Среди них преобладала линолевая кислота (18:2 n-6), содержание которой в консервах достигало 9,15-9,50% от суммы жирных кислот, что в 4 раза превышало её количество в сырой сайре (1,75%).

Содержание ПНЖК n-3 и эссенциальных жирных кислот (ЭПК+ДГК) в 100 г рыбы и консервов приведено в табл. 5. Рекомендуемый уровень суточного потребления ПНЖК n-3 для человека согласно МР 2.3.1.02.53-21<sup>6</sup> составляет не менее 3 г, а сумма ЭПК и ДГК – 0,8-1,6 г. Как видно, консервы – паштеты из сайры тихоокеанской способны полностью удовлетворить (на 100%) суточную потребность организма человека в этих ценных веществах.

Для характеристики биологической эффективности жирового компонента сайры тихоокеанской и изготовленных из неё консервов, а также оценки положительного их влияния на здоровье человека были определены пищевые индексы качества липидов (табл. 6), или, как их называют в научной литературе, липидные индексы здоровья («health lipid indices») [Ulbricht, Southgate, 1991; Pleadin et al., 2017; Kocatepe et al., 2019; Chen, Liu, 2020]. В основу расчётов этих показателей положены соотношения отдельных групп жирных кислот, которые выполняют различную физиологическую функцию.

Показатель ПНЖК/НЖК традиционно используется для первичной оценки питательной ценности продуктов, так как он характеризует полезное воздействие только ПНЖК на здоровье человека, но не учитывает влияние МНЖК [Ulbricht, Southgate, 1991]. Известно, что продукты с соотношением ПНЖК/НЖК ниже 0,45 считаются нежелательными для питания человека из-за их способности вызывать нарушение холестерина обмена [Fernandes et al., 2014].

<sup>6</sup> МР 2.3.1.0253-21. 2021. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. М.: Роспотребнадзор РФ. 29 с.

**Таблица 5.** Содержание основных групп жирных кислот в мышечной ткани сайры тихоокеанской и консервах  
**Table 5.** Content of the main groups of fatty acids in the muscle tissue of Pacific saury and canned food

Жирные кислоты	Содержание в							
	сайре		консервах-паштетах <sup>1</sup>		разработанных консервах			
	%*	г/100 г**	%*	г/100 г**	паштет «Особый»		паштет «Приморский»	
	%*	г/100 г**	%*	г/100 г**	%*	г/100 г**	%*	г/100 г**
∑ ПНЖК n-3	30,28	4,48	27,06	5,14	26,69	4,80	26,57	4,60
∑ ПНЖК n-6	2,94	0,44	10,29	1,96	10,46	1,88	10,28	1,78
ЭПК+ДГК	19,8	2,93	17,23	3,27	17,61	3,16	17,34	3,00

Обозначение: содержание: \* – в % от суммы жирных кислот; г/ 100 г; \*\* – в г на 100 г продукта

**Таблица 6.** Критерии эффективности липидов сайры тихоокеанской и консервов  
**Table 6.** Efficiency criteria of lipids of Pacific saury and canned food

Индексы качества липидов	Фактические значения для			
	сайры	консервов-паштета <sup>1</sup>	разработанных консервов	
			паштет «Особый»	паштет «Приморский»
ПНЖК/НЖК	1,41/1	1,54/1	1,59/1	1,63/1
∑ ПНЖК n-6/∑ ПНЖК n-3	1/10,1	1/2,63	1/2,55	1/2,58
IA (атерогенности)	0,58	0,57	0,50	0,51
IT (тромбогенности)	0,17	0,21	0,20	0,19
H/H (гипохолестеринемический)	1,50	1,86	2,17	1,99
FLQ (общий индекс качества липидов)	19,66	17,58	17,97	17,69

В табл. 6 показано, что сумма ПНЖК в сайре и изготовленных из неё паштетах значительно выше, чем сумма НЖК. Однако для сайры этот показатель оказался ниже, чем для консервов. В липидах консервов сумма ПНЖК несколько выше за счёт добавления растительного масла и увеличения количества линолевой кислоты. Для всех видов консервов из сайры тихоокеанской показатель ПНЖК/НЖК значительно выше, чем для некоторых рыбных, мясных и молочных продуктов [Chen, Liu, 2020], что указывает на диетические свойства липидов этих продуктов.

Соотношение ∑ПНЖК n-6/∑ПНЖК n-3 также является важным показателем положительного влияния липидов на организм человека [Simopoulos, 2002; Pleadin et al., 2017]. Считается, что наиболее благоприятно для человека употребление в пищу продуктов, содержащих большее количество ПНЖК омега-3. В России рекомендовано в суточном рационе человека соотношение этих жирных кислот от 5/1 до 10/1<sup>6</sup>. Согласно рекомендаций Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (Food and Agriculture Organization) наиболее рациональным соотношением их в рационе человека является 2/1-3/1, а при заболеваниях сердечно-сосудистой системы –

не более 1,5/1,0 [Kocatepe et al., 2019; Krešić et al., 2019]. Эти значения для консервов из сайры тихоокеанской всех вариантов практически (1/2,55 1/2,63), имели лучший показатель, чем исходное сырье.

Индекс атерогенности (IA) характеризует взаимосвязь между количеством проатерогенных (C12:0, C14:0 и C16:0) и антиатерогенных (общая сумма ненасыщенных) жирных кислот [Ulbricht, Southgate, 1991]. Продукты с низким значением индекса IA способствуют большему снижению уровня холестерина в крови человека и предотвращают образование бляшек в сосудах. В нашем исследовании значения показателя IA для сайры тихоокеанской и консервов из неё были практически одинаковыми (0,50-0,58) и сопоставимы с индексами для некоторых видов рыб и диетического мяса животных [Chen, Liu, 2020].

Индекс тромбогенности (IT) характеризует влияние жирных кислот продукта на свертываемость крови [Ulbricht, Southgate, 1991; Garaffo et al., 2011; Krešić et al., 2019;]. Чем выше значение индекса для липидов рациона питания, тем выше интенсивность тромбообразования в сосудах человека. Продукты с низкими значениями IT, наоборот, обладают способностью снижать скорость свертываемости крови, соот-

ветственно снижать риск образования тромбов и повышать здоровье человека. Величина *IT* для липидов сайры тихоокеанской (0,17) и консервов на её основе (0,19-0,21) оказалась значительно ниже по сравнению с таковыми показателями для многих продуктов [Chen, Liu, 2020].

Индекс *H/H* характеризует взаимосвязь между гипохолестеринемическими (18:1 + ПНЖК n-3 + ПНЖК n-6) и гиперхолестеринемическими (14:0+16:0) кислотами и позволяет оценить влияние жирно-кислотного состава продуктов на метаболизм и общий уровень холестерина в крови человека [Ulbricht, Southgate, 1991]. Повышенное значение индекса *H/H* характеризует высокую ценность жирового компонента, а также способность его снизить риск развития нарушений холестеринового обмена у человека. Поэтому продукты с повышенным значением данного индекса являются наиболее благоприятными для здоровья человека [Fernandes et al., 2014; Rincón-Cervera et al., 2020]. Известно, что для мяса и мясопродуктов показатель *H/H* находится в пределах от 1,27 до 2,78 [Chen, Liu, 2020]. Нами установлено, что величина индекса *H/H* для липидов сайры тихоокеанской составляет 1,5, а для консервов значительно выше – от 1,86 до 2,17, что характеризует их способность снижать риск развития нарушений холестеринового обмена у человека.

Общий индекс качества липидов (*FLQ*) оценивается по содержанию эссенциальных жирных кислот (ЭПК+ДГК) в общей сумме жирового компонента продукта. Считается, что чем выше его значение, тем выше диетическая ценность липидов продукта и потенциальное влияние их на развитие коронарной болезни [Murillo et al., 2014; Calabrò et al., 2015]. Для сайры тихоокеанской этот индекс составил 19,66, для консервов – паштетов из неё – 17,58-17,97. Величина *FLQ* для липидов ранее исследуемых видов рыб составляла от 13,01 и выше [Chen, Liu, 2020].

Таким образом, липидные индексы здоровья для консервов – паштетов из сайры тихоокеанской, полученных как по традиционной, так и разработанной технологии, не имеют значительных отличий, они характеризуют потенциальное защитное действие продуктов на организм человека.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработаны консервы «Паштет Особый» и «Паштет Приморский» из сайры тихоокеанской, в состав которых входят фарш из термически не обработанной рыбы и дополнительные компоненты. По органолептическим свойствам разработанные консервы значительно превосходят традиционный вид консер-

вов – паштетов, включающий фарш из бланшированной сайры.

Консервы – паштеты из сайры тихоокеанской являются источниками ПНЖК n-3 и эссенциальных жирных кислот – ЭПК и ДГК. Содержание в них ПНЖК n-3 составляло 4,6-4,8 г/100 г, ЭПК+ДГК – 3,0-3,16 г/100 г, что полностью обеспечивает суточную потребность организма здорового и больного человека в них.

Пищевые индексы качества липидов для разработанных видов консервов -паштетов из сайры тихоокеанской характеризуют потенциальную способность продуктов проявлять диетические свойства и обеспечить снижение риска развития сердечно-сосудистых заболеваний. Разработанные виды консервов из сайры предложены для промышленного выпуска, они могут быть рекомендованы для включения в рацион отдельных групп населения как продукты для диетического профилактического питания.

В данной работе авторами использованы данные по составу липидов и жирных кислот сайры тихоокеанской и консервов, полученные нашим коллегой, к. х. н. **Константином Геннадьевичем Павелем**. Опытный и уважаемый специалист химик, К.Г. Павел ушёл из жизни 21 июня 2024 г. Мы благодарны ему за многолетнее успешное сотрудничество.

## Благодарности

Авторы благодарны неизвестным рецензентам за помощь и ценные рекомендации по улучшению статьи.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

## Финансирование

Работа была выполнена в соответствии с тематическим планом Тихоокеанского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО») и не имела дополнительного финансирования.

## ЛИТЕРАТУРА

- Акулин В.Н., Амина Н.М., Караулова Е.П., Шульгина Л.В., Якуш Е.В. 2022. Технохимическая характеристика и рациональное использование промысловых гидробионтов Дальневосточного бассейна: монография. Владивосток: ТИНРО. 273 с.
- Кизеветтер И.В., Наседкина Е.А. 1972. К вопросу о накоплении гистамина в тканях тела тихоокеанской скумбрии // Известия ТИНРО. Т. 83. С. 27-34.

- Патиева С.В., Лисовицкая Е.П. 2016. Использование растительных компонентов для формирования комплексообразующей способности мясных продуктов функционального назначения // Вестник Казанского государственного аграрного университета. Т. 11 (1). С. 34-38. DOI: 10.12737/19319.
- Подсосонная М.А., Родина Т.Г. 2004. Проблема гистамина в рыбной продукции // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. № 1. С. 30-32.
- Сборник технологических инструкций по производству консервов и пресервов из рыбы и нерыбных объектов. 2012. СПб.: Судостроение. Т. 1, 2. 160 с., 272 с.
- Серпунина Л.Т., Бречко Е.В. 2011. Уровень гистамина в рыбных консервах в зависимости от технологических факторов // Известия КГТУ. № 23. С. 191-198.
- Шульгина Л.В., Швидкая З.П., Солодова Е.А., Давлетшина Т.А., Долбнина Н.В., Загородная Г.И. 2014. Об использовании мороженого сырья из тихоокеанских лососей в консервном производстве // Техника и технология пищевых производств. № 3. С. 91-95.
- Шульгина Л.В., Павел К.Г., Солодова Е.А., Якуш Е.В. 2022. Пищевая и биологическая ценность паштетных консервов из сардины иваси *Sardinops melanostictus* // Известия ТИПРО. Т. 202. Вып. 4. С. 957-969. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-957-969
- Химический состав пищевых продуктов: Справочные таблицы содержания аминокислот, жирных кислот, витаминов, микро- и макроэлементов, органических кислот и углеводов. 1987. / И.М. Скурихин, М.Н. Волгарева ред. М.: Агропромиздат. 360 с.
- Afilal M.A., Daoudi H., Jdaini S., Asehraou A., Bouali A. 2006. Study of the Histamine Production in a Red Flesh Fish (*Sardina pilchardus*) and a White Flesh Fish (*Dicentrarchus punctatus*) // Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. V. 6. P. 43-48.
- Calabrò S., Cutrignelli M.I., Lo Presti V., Tudisco R., Chiofalo V., Grossi M., Infascelli, F., Chiofalo B. 2015. Characterization and effect of year of harvest on the nutritional properties of three varieties of white lupine (*Lupinus albus* L.) // J. Sci. Food Agric. V. 95. P. 3127-3136. DOI: 10.1002/jsfa.7049.
- Carreau J.P., Dubacq J.P. 1978. Adaptation of a macro-scale method to the micro-scale for fatty acid methyl transesterification of biological lipid extracts // Journal of Chromatography. V. 151 (3). P. 384-90. DOI: 10.1016/s0021-9673(00)88356-9.
- Chen J., Liu H. 2020. Nutritional Indices for Assessing Fatty Acids: A Mini-Review // International Journal of Molecular Sciences. V. 21(16). P. 5695. DOI: 10.3390/ijms21165695.
- Christie W.W. 1988. Equivalent chain-lengths of methyl ester derivatives of fatty acids on gas chromatography A (reappraisal) // Journal of Chromatography. V. 447 (2). P. 305-14. DOI: 10.1016/0021-9673(88)90040-4.
- Garaffo M.A., Vassallo-Agius R., Nengas Y., Lembo E., Rando R., Maisano R., Giuffrida D. 2011. Fatty acids profile, atherogenic (IA) and thrombogenic (IT) health lipid indices, of raw roe of blue fin tuna (*Thunnus thynnus* L.) and their salted product «Bottarga» // Food and Nutrition Sciences. V. 2, (7). P. 736-743. DOI: 10.4236/fns.2011.27101.
- Fernandes C.E., da Silva Vasconcelos M.A., de Almeida Ribeiro M., Sarubbo L.A., Andrade S.A. C., de Melo Filho A.B. 2014. Nutritional and lipid profiles in marine fish species from Brazil // Food chemistry. V. 160. P. 67-71. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.03.055.
- Kocatepe D., Mehmet E.E., Irfan K., Bayram K., Yalçın K. 2019. Differences on lipid quality index and amino acid profiles of European Anchovy caught from different area in Turkey // Ukrainian Journal of Food Science. V. 7. P. 1-15. DOI: 10.24263/2310-1008-2019-7-1-3.
- Krešić G., Vulić A., Dergestin Bačun L., Lešić T., Želježić D., Pleadi J. 2019. Nutritive composition and lipid quality indices of commercially available filleted fish // Food in Health and Disease, scientific-professional journal of nutrition and dietetics. V. 8 (1). P. 67-73.
- Laggai S., Simon Y., Ransswailer T., Kiemer A.K., Kessler S.M. 2013. Rapid chromatographic method to decipher distinct alterations in lipid classes in NAFLD/NASH // World journal of hepatology. V. 5(10). P. 558-567. DOI: 10.4254/wjh.v5.i10.558.
- Mjaatveit, M., Oldernes, H., Gudbrandsen, O. A. 2024. Effects of diets containing fish oils or fish oil concentrates with high cetoleic acid content on the circulating cholesterol concentration in rodents. A systematic review and meta-analysis // British Journal of Nutrition. V. 131 (4). P. 606-621. DOI: 10.1017/S0007114523002118.
- Østbye T.K.K., Berge G.M., Nilsson A., Romarheim O.H., Bou M., Ruyter B. 2019. The long-chain monounsaturated cetoleic acid improves the efficiency of the n-3 fatty acid metabolic pathway in Atlantic salmon and human HepG2 cells // British Journal of Nutrition. V. 122 (7). P. 755-768. DOI: 10.1017/S0007114519001478.
- Pleadin J., Lesic T., Kresic G., Baric R., Bogdanovic T., Oraic D., Zrncic S. 2017. Nutritional quality of different fish species farmed in the Adriatic Sea // Italian Journal of Food Science. V. 29 (3). P. 537-549. DOI: 10.14674/IJFS-706.
- Rincón-Cervera M.Á., González-Barriga V., Romero J., Rojas R., López-Arana S. 2020. Quantification and distribution of omega-3 fatty acids in south pacific fish and shellfish species // Foods. V. 9. P. 233. DOI: 10.3390/foods9020233.
- Schneider C.A., Rasband W.S., Eliceiri K.W. 2012. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis // Nat. Methods. V. 9 (7). P. 671-675. DOI.org/10/1038/nmeth.2089.
- Simopoulos A.P. 2002. The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids // Biomed. Pharmacother. V. 56. P. 365-379. DOI: 10.1016/S0753-3322(02)00253-6.
- Ulbricht T.L.V., Southgate T.A.D. 1991. Coronary heart disease: seven dietary factors // The Lancet. V. 338. P. 985-992. DOI: 10.1016/0140-6736(91)91846-m.
- Yang Z.H., Gordon S.M., Sviridov D., Wang S., Danne R.L., Pryor M., Remaley A.T. 2017. Dietary supplementation with long-chain monounsaturated fatty acid isomers decreases atherosclerosis and alters lipoprotein proteomes in LDLr<sup>-/-</sup> mice // Atherosclerosis. V. 262. P. 31-38. DOI: 10.1016/j.atherosclerosis.2017.04.017.

## REFERENCES

Akulin V.N., Aminina N.M., Karaulova E.P., Shulgina L.V., Yakush E.V. 2022. Technochemical characteristics and rational use of commercial hydrobionts of the Far Eastern basin. Vladivostok: TINRO Publish. 273 p. (In Russ.).

- Kizevetter I.V., Nasedkina Ye.A. 1972. On the accumulation of histamine in the body tissues of the Pacific mackerel // Izvestiya TINRO. T.83. S. 27-34. (In Russ.).
- Patieva S.V., Lisovitskaya E.P. 2016. Use of plant components for the formation of complexing capacity of functional meat products // Bulletin of the Kazan State Agrarian University. V. 11 (1). P. 34-38. DOI: 10.12737/19319. (In Russ.).
- Podosonnaya M.A., Rodina T.G. 2004. The Histamine Problem in Fish Products // News of higher educational institutions. Food technology. № 1. S. 30-32. (In Russ.).
- Collection of technological instructions for the production of canned and preserved fish and non-fish products. 2012. St. Petersburg: Shipbuilding. V. 1, 2. 160 p., 272 p. (In Russ.).
- Serpunina L.T., Brechko Ye.V. 2011. Histamine levels in canned fish depending on technological factors // Izvestiya KGTU. № 23. S. 191-198. (In Russ.).
- Shulgina L.V., Shvidkaya Z.P., Solodova Ye.A., Davletshina T.A., Dolbnina N.V., Zagorodnaya G.I. 2014. About the use of frozen raw materials from Pacific salmon in canning production // Food Processing: Techniques and Technology. № 3. S. 91-95. (In Russ.).
- Shulgina L.V., Pavel K.G., Solodova E.A., Yakush E.V. 2022. Food and biological value of pate canned sardine *Sardinops melanostictus* // Izvestiya TINRO. V. 202 (4). P. 957-969. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-957-969. (In Russ.).
- Chemical composition of food products: Reference tables of the content of amino acids, fatty acids, vitamins, micro- and macroelements, organic acids and carbohydrates. 1987. / I.M. Skurikhin, M.N. Volgareva ed. Moscow: Agropromizdat. 360 p. (In Russ.).
- Aflal M.A., Daoudi H., Jdaini S., Asehraou A., Bouali A. 2006. Study of the Histamine Production in a Red Flesh Fish (*Sardina pilchardus*) and a White Flesh Fish (*Dicentrarchus punctatus*) // Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. V. 6. P. 43-48.
- Calabrò S., Cutrignelli M.I., Lo Presti V., Tudisco R., Chiofalo V., Grossi M., Infascelli, F., Chiofalo B. 2015. Characterization and effect of year of harvest on the nutritional properties of three varieties of white lupine (*Lupinus albus* L.) // J. Sci. Food Agric. V. 95. P. 3127-3136. DOI: 10.1002/jsfa.7049.
- Carreau J.P., Dubacq J.P. 1978. Adaptation of a macro-scale method to the micro-scale for fatty acid methyl transesterification of biological lipid extracts // Journal of Chromatography. V. 151 (3). P. 384-90. DOI: 10.1016/s0021-9673(00)88356-9.
- Chen J., Liu H. 2020. Nutritional Indices for Assessing Fatty Acids: A Mini-Review // International Journal of Molecular Sciences. V. 21(16). P. 5695. DOI: 10.3390/ijms21165695.
- Christie W.W. 1988. Equivalent chain-lengths of methyl ester derivatives of fatty acids on gas chromatography A (reappraisal) // Journal of Chromatography. V. 447 (2). P. 305-14. DOI: 10.1016/0021-9673(88)90040-4.
- Garaffo M.A., Vassallo-Agius R., Nengas Y., Lembo E., Rando R., Maisano R., Giuffrida D. 2011. Fatty acids profile, atherogenic (IA) and thrombogenic (IT) health lipid indices, of raw roe of blue fin tuna (*Thunnus thynnus* L.) and their salted product «Bottarga» // Food and Nutrition Sciences. V. 2, (7). P. 736-743. DOI: 10.4236/fns.2011.27101.
- Fernandes C.E., da Silva Vasconcelos M.A., de Almeida Ribeiro M., Sarubbo L.A., Andrade S.A. C., de Melo Filho A.B. 2014. Nutritional and lipid profiles in marine fish species from Brazil // Food chemistry. V. 160. P. 67-71. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.03.055.
- Kocatepe D., Mehmet E.E., Irfan K., Bayram K., Yalçin K. 2019. Differences on lipid quality index and amino acid profiles of European Anchovy caught from different area in Turkey // Ukrainian Journal of Food Science. V. 7. P. 1-15. DOI: 10.24263/2310-1008-2019-7-1-3.
- Krešić G., Vulić A., Dergestin Bačun L., Lešić T., Želježić D., Pleadi J. 2019. Nutritive composition and lipid quality indices of commercially available filleted fish // Food in Health and Disease, scientific-professional journal of nutrition and dietetics. V. 8 (1). P. 67-73.
- Laggai S., Simon Y., Ransswailer T., Kiemer A.K., Kessler S.M. 2013. Rapid chromatographic method to decipher distinct alterations in lipid classes in NAFLD/NASH // World journal of hepatology. V. 5(10). P. 558-567. DOI: 10.4254/wjh.v5.i10.558.
- Mjaatveit, M., Oldernes, H., Gudbrandsen, O.A. 2024. Effects of diets containing fish oils or fish oil concentrates with high cetoleic acid content on the circulating cholesterol concentration in rodents. A systematic review and meta-analysis // British Journal of Nutrition. V. 131 (4). P. 606-621. DOI: 10.1017/S0007114523002118.
- Østbye T.K.K., Berge G.M., Nilsson A., Romarheim O.H., Bou M., Ruyter B. 2019. The long-chain monounsaturated cetoleic acid improves the efficiency of the n-3 fatty acid metabolic pathway in Atlantic salmon and human HepG2 cells // British Journal of Nutrition. V. 122 (7). P. 755-768. DOI: 10.1017/S0007114519001478.
- Pleadin J., Lesic T., Kresic G., Baric R., Bogdanovic T., Oraic D., Zrncic S. 2017. Nutritional quality of different fish species farmed in the Adriatic Sea // Italian Journal of Food Science. V. 29 (3). P. 537-549. DOI: 10.14674/IJFS-706.
- Rincón-Cervera M.Á., González-Barriga V., Romero J., Rojas R., López-Arana S. 2020. Quantification and distribution of omega-3 fatty acids in south pacific fish and shellfish species // Foods. V. 9. P. 233. DOI: 10.3390/foods9020233.
- Schneider C.A., Rasband W.S., Eliceiri K.W. 2012. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis // Nat. Methods. V. 9 (7). P. 671-675. DOI.org/10/1038/nmeth.2089.
- Simopoulos A.P. 2002. The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids // Biomed. Pharmacother. V. 56. P. 365-379. DOI: 10.1016/S0753-3322(02)00253-6.
- Ulbricht T.L.V., Southgate T.A.D. 1991. Coronary heart disease: seven dietary factors // The Lancet. V. 338. P. 985-992. DOI: 10.1016/0140-6736(91)91846-m.
- Yang Z.H., Gordon S.M., Sviridov D., Wang S., Danne R.L., Pryor M., Remaley A.T. 2017. Dietary supplementation with long-chain monounsaturated fatty acid isomers decreases atherosclerosis and alters lipoprotein proteomes in LDLr<sup>-/-</sup> mice // Atherosclerosis. V. 262. P. 31-38. DOI: 10.1016/j.atherosclerosis.2017.04.017.

Поступила в редакцию 29.05.2025 г.  
Принята после рецензии 01.07.2025 г.



УДК 330.15

**Экономика, международное сотрудничество и нормативные правовые основы  
рыбохозяйственной деятельности**

## **Исследование тенденций изменения объёмов потребления рыбной продукции в Китае с точки зрения повышения уровня потребления**

Чжан Ичжо<sup>1</sup>, Ян Цзыцзян<sup>1</sup>, Юань Сяоцзе<sup>1</sup>, Сюй Лэцзюнь<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Китайская академия рыбохозяйственных наук ул. Цинта, д. 150, Пекин, 100141, Китай

<sup>2</sup> Экономико-управленческий факультет Шанхайского океанического университета, ул. Лученхуань, д. 999, Шанхай, 201306, Китай

E-mail: international@cafs.ac.cn

Для точного формирования мер, направленных на высококачественное развитие рыбной отрасли, а также на согласование структурных реформ со стороны предложения с расширением внутреннего спроса на рыбную продукцию, в настоящем исследовании на основе официального Руководства по питанию для населения Китая проанализировано текущее состояние потребления рыбной продукции в Китае и выполнен прогноз её дальнейших изменений. Результаты показывают, что структура потребления рыбной продукции постоянно совершенствуется, при этом увеличивается доля потребления видов с высокой экономической ценностью. По прогнозам, к 2035 году объёмы потребления рыбной продукции в Китае могут превысить 35 млн тонн. Исследование демонстрирует, что для удовлетворения растущего спроса на повышение уровня потребления рыбной продукции необходимо сосредоточить усилия на следующих направлениях:

1. использование обширных водных ресурсов для увеличения производства пищевой продукции и расширения каналов поставок рыбной продукции;
2. активное развитие выращивания высокоэкономичных видов рыб и водных биоресурсов с целью повышения производственных мощностей;
3. усиление научно-технической поддержки и модернизация оборудования в рыбной отрасли, способствующие устойчивому «зелёному» развитию рыболовства.

Данное исследование может служить информационной базой для органов управления рыбным хозяйством при разработке соответствующих мер политики. Формирование концепции комплексного продовольственного обеспечения, с учётом тенденций рынка рыбной продукции, позволит заранее планировать развитие и создавать диверсифицированную систему продовольственного обеспечения. Совместное воздействие на спрос и предложение будет способствовать высококачественному развитию отрасли.

**Ключевые слова:** повышение уровня потребления рыбной продукции; прогноз тенденций; высококачественное развитие рыбного хозяйства; меры по адаптации.

## **Research on the consumption trend changes of aquatic products in China from the perspective of consumption upgrading**

Zhang Yizhuo<sup>1</sup>, Yang Zijiang<sup>1</sup>, Yuan Xiaojie<sup>2</sup>, Xu Lejun<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingta W Rd 150, Beijing, 100141, China

<sup>2</sup> College of Economics and Management, Shanghai Ocean University, Luchenghuan rd. 999 Shanghai, 201306, China

In order to implement precise policies to promote the high-quality development of fisheries, better coordinate the structural reform of the supply side of fisheries and expand the domestic demand for aquatic products. Based on the official data of dietary guidelines for Chinese residents, the present situation and future trend of consumption of aquatic products in China are analyzed in this paper. The results show that the consumption structure of aquatic products in China is continuously optimized, and the proportion of high economic aquatic products consumption is increased, and the consumption of aquatic products in China is expected to exceed 35 million tons by 2035. The research shows that the following work should be carried out to meet the demand of upgrading aquatic products consumption in China in the future. (1) To expand the supply channels of aquatic products by asking for food from large surface resources. (2) Vigorously develop aquaculture varieties of high economic value and enhance the supply capacity. (3) Strengthen the support of fishery technology and equipment, and promote the green development of fishery. This study can provide relevant data support for fishery authorities to implement policies, establish a big food concept, plan and layout in advance according to the future market trends of aquatic products, build a diversified food supply system, and promote the high-quality development of fisheries through both supply and demand.

**Keywords:** aquatic products consumption upgrading; trend prediction; high-quality development of fisheries; countermeasures.

## 消费升级视角下我国水产品消费量变化趋势研究

中国渔业经济, 2024年第4期 第42卷, 106-121页

张溢卓<sup>1</sup>, 杨子江<sup>1</sup>, 袁晓杰<sup>2</sup>, 徐乐俊<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>. 中国水产科学研究院, 北京 100141;

<sup>2</sup>. 上海海洋大学 经济管理学院, 上海 201306)

**摘要:**为精准施策推动渔业高质量发展,更好统筹渔业供给侧结构性改革和扩大水产品内需,本文以中国居民膳食指南官方数据为依据,分析我国水产品消费现状并对未来趋势进行预测。结果显示,我国水产品消费结构不断优化,高经济性水产品消费占比提高,预测2035年我国居民水产品消费量有望超过3500万吨。研究表明,未来满足我国水产品消费升级需求应重点开展以下工作:(1)向大水面资源要食物,拓宽水产品供给渠道;(2)大力发展高经济价值水产品养殖品种,增强供给能力;(3)强化渔业科技和装备支撑,推进渔业绿色发展。本研究可为渔业主管部门施策提供相关数据支撑;树立大食物观,结合未来水产品市场动向提前规划布局,构建多元化食物供给体系,供给需求双发力推动渔业高质量发展。

**关键词:**水产品消费升级;趋势预测;渔业高质量发展;应对措施

中图分类号:F326.406 文献标识码:A 文章编号:1009-(2024)04-0106-10

### ВВЕДЕНИЕ

Руководство по питанию для населения Китая 2022 года указывает, что в настоящее время основным источником животного белка в Китае является мясо крупного рогатого скота и свинина, и необходимо скорректировать соотношение между мясом и рыбной продукцией. Для взрослых рекомендованный суточный объём потребления как рыбной продукции, так и мяса птицы и других животных составляет 40-75 г (в расчёте на съедобную часть продукта). При условии выхода съедобных частей рыбной продукции в среднем 54,5%, это соответствует ежедневному потреблению свежей рыбной продукции на уровне 73,39-137,61 г на человека, что в годовом исчислении составляет 26,79-50,23 кг/чел., при этом медианное значение – 38,51 кг/чел. Для обеспечения сбалансированного питания и удовлетворения потребностей организма в питательных веществах необходимо достигать именно этих показателей.

Согласно данным исследований, в 2022 году среднегодовое потребление рыбной продукции на душу населения в Китае составило 34,27 кг: у городских жителей – 39,93 кг, у сельских – 26,38 кг [Ли и др., 2024]. Из сравнения следует, что городское население в среднем достигло медианных значений, рекомендованных диетическими нормами, тогда как сельское население значительно отстаёт и даже не достигает минимальных нормативов. Это указывает на значительный потенциал для роста потребления рыбной продукции в стране и необходимость увеличения доли качественного белка из рыбной продукции.

Как в Китае, так и за рубежом было проведено множество исследований, посвящённых потреблению рыбной продукции населением. Зарубежные учёные

чаще фокусируются на частоте потребления, факторах влияния и связи с питательной ценностью и здоровьем. Например, С. Hoerterer с коллегами [2022], анализируя связь между потреблением рыбной продукции и социальными факторами (возрастом, полом, уровнем образования), установили, что женщины потребляют рыбную продукцию реже мужчин, а частота потребления положительно коррелирует с возрастом и образованием. Что касается факторов, влияющих на потребление, исследования на базе опросных данных выявляют связь с культурными предпочтениями, религиозными убеждениями и потребительскими привычками [Birch, Lawley, 2012; Jacobs et al., 2015; Carlucci et al., 2015]. В аспекте здоровья N. Voase с коллегами [2019] подчёркивают, что миллиарды людей зависят от рыбной продукции как основного источника белка, а сама продукция обладает уникальной питательной ценностью и благотворно влияет на здоровье человека. Z. Pieniak и соавторами [2010] выделили четыре группы потребителей: не уделяющие внимания здоровому питанию, стремящиеся к здоровому образу жизни, чрезмерно озабоченные здоровьем и имеющие низкий уровень требований к здоровью.

Китайские учёные в основном анализируют потребление рыбной продукции с точки зрения её питательной ценности, соотношения спроса и предложения, факторов влияния, анализа потребительских намерений и моделей, а также перспектив развития, накопив значительные результаты в данных направлениях.

Во-первых, по питательной ценности. Рыбная продукция играет важную роль в обеспечении продовольственной безопасности страны и здоровья населения, способствуя трансформации аграрной и продовольственной систем и обеспечивая доступное по

стоимости здоровое питание [The state of world ..., 2022]. Чжао Юн и коллеги [2021] системно описали преимущества и полезные свойства рыбной продукции с точки зрения питательных веществ и медицинских аспектов, а также рассмотрели вопросы научного использования рыбной продукции для корректировки рациона населения и разработки морских оздоровительных продуктов.

Во-вторых, по соотношению спроса и предложения. Сунь Чэнь [2000], исследуя структуру потребления рыбной продукции и баланс рынка, отметил дисбаланс как по объемам, так и по регионам на рынке рыбной продукции Китая. Ли Жуйци [2018], рассматривая спрос и предложение рыбной продукции, отметил, что потребители могут удовлетворить свой спрос на рыбную продукцию за счёт предложения, и предложил рекомендации по реформированию предложения рыбной продукции в новых условиях.

В-третьих, по факторам влияния. Учёные отмечают, что экономические, социальные и культурные факторы существенно влияют на объёмы потребления рыбной продукции [Тан, Чжан, 2005; Сунь, Лу, 2007; Ху, Ван, 2009]. Ма Цзюньи с коллегами [2018] провели выборочное исследование потребителей сети супермаркетов Hema Fresh, выявив связь новых моделей потребления с полом, возрастом и доходом потребителей, а также предложили меры по развитию новых моделей потребления рыбной продукции.

В-четвертых, по анализу намерений и моделей. Чжун Жуйюй с соавторами [2020], изучая каналы сбыта и другие этапы распределения, исследовали предложение рыбной продукции в провинции Гуандун, применяя методы анализа литературы и SWOT-анализ. Результаты показали, что в последние годы объёмы продаж свежей рыбной продукции через электронную коммерцию успешно растут, способствуя расширению потенциала спроса и развитию цепочки поставок. В связи с этим была рекомендована дальнейшая государственная поддержка в области регулирования отрасли, контроля качества и рисков, а также стимулирование развития сектора электронной коммерции свежей рыбной продукции.

Коллектив авторов во главе с Хань Сяо и др. [2015] исследуя особенности онлайн-покупок свежей рыбной продукции потребителями в регионах Цзянсу, Чжэцзян и Шанхае, выявили, что 84,4% опрошенных осуществляют онлайн-покупки свежей рыбной продукции не реже одного раза в две недели. Основные торговые площадки распределились следующим образом: SF Express (19,10%), Tmall (Miaoxiansheng) (19,00%), Yihaodian Fresh (13,30%), COFCO Womai (12,30%), JD Fresh (9,80%) и другие.

В-пятых, по перспективам развития. Чэнь Ци и Хань Лимин [2016], исходя из данных о потреблении рыбной продукции в домашних хозяйствах, создали многомерную модель серого прогнозирования MGM (1, N), применённую для анализа тенденций потребления рыбной продукции. Лу Чанцай [2022] считает, что рыбная продукция является важным компонентом рациона питания и в рамках концепции комплексного продовольственного обеспечения обладает потенциалом для расширения возможностей предложения.

Исследования вышеназванных учёных оказывают важную теоретическую поддержку развитию рыбной промышленности. Однако исследований, посвящённых отслеживанию тенденций повышения уровня потребления рыбной продукции в Китае, сравнительно немного. С момента начала реализации 14-й пятилетки председатель Си Цзиньпинь выдвинул новые требования по контролю за изменениями структуры питания населения. В связи с этим в настоящей статье поставлена задача чётко определить текущую ситуацию с потреблением рыбной продукции в стране, количественно оценить показатели потребления среди населения, обосновать процесс постоянного улучшения структуры потребления, а также спрогнозировать объёмы потребления рыбной продукции на период 14-й, 15-й пятилеток и на более длительный срок и предложить соответствующие меры и рекомендации по адаптации.

## 1. АНАЛИЗ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ РЫБНОЙ ПРОДУКЦИИ ЖИТЕЛЯМИ КИТАЯ

За более чем 70 лет с момента основания Китайской Народной Республики рыболовная отрасль Китая достигла значительных успехов, признанных как внутри страны, так и на международном уровне, и занимает лидирующие позиции по ряду показателей. В частности, в области производства рыбной продукции Китай на протяжении 34 лет, по состоянию на конец 2023 года, удерживает первое место в мире. В сфере торговли рыбной продукцией страна занимает лидирующую позицию уже более 20 лет: в 2022 году общий объём импорта и экспорта составил 10,2328 млн тонн. Что касается численности населения, занятого в рыболовстве, в 2022 году она достигла 16,1945 млн человек, что превышает численность населения таких стран, как Швеция, Греция, Куба или Бельгия [Статистический ежегодник ..., 2022]. Развитие рыболовной отрасли значительно способствовало росту потребления рыбной продукции в Китае (рис. 1).

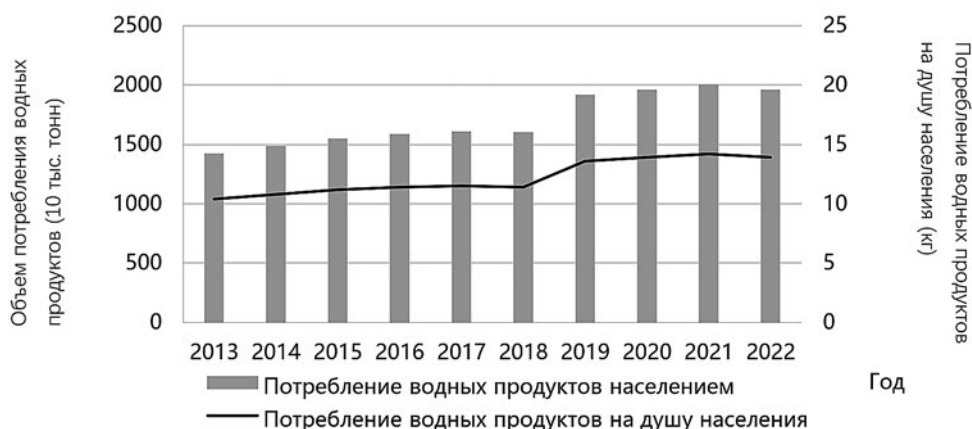


Рис. 1. Динамика потребления съедобной части рыбной продукции населением Китая.

Источник: Национальное бюро статистики

Fig. 1. Dynamics of consumption of edible fish products by the Chinese population.

Source: National Bureau of Statistics

### 1. Быстрый рост объёмов потребления

В отношении потребления рыбной продукции Национальное бюро статистики Китая ежегодно публикует данные о «среднем потреблении на душу населения в домашних хозяйствах», основанные на выборочных опросах домохозяйств. Эти данные отражают количество рыбной продукции, потребляемой в домашних условиях. Однако значительная часть рыбной продукции потребляется вне дома – в ресторанах, гостиницах, столовых и других местах общественного питания, поэтому данные о потреблении в домашних хозяйствах отражают лишь часть реального потребления и не дают полной картины.

Кроме того, Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (FAO) также публикует

данные о потреблении рыбной продукции в разных странах. Однако важно отметить, что статистика Китая и FAO различается. Данные FAO в основном учитывают объёмы производства и торговли рыбной продукцией за текущий год, не принимая во внимание непищевое использование и другие факторы. Различия в источниках данных, системах статистических показателей и экономических системах приводят к значительным расхождениям между данными FAO и реальной ситуацией. Тем не менее, эти данные сохраняют ценность для сравнительного анализа между странами и для оценки динамики потребления внутри одной страны.

Согласно данным FAO, при сравнении с другими странами Восточной Азии – Японией и Южной Кореей – потребление рыбной продукции в Китае уступает этим странам (рис. 2). Несмотря на схожие пищевые

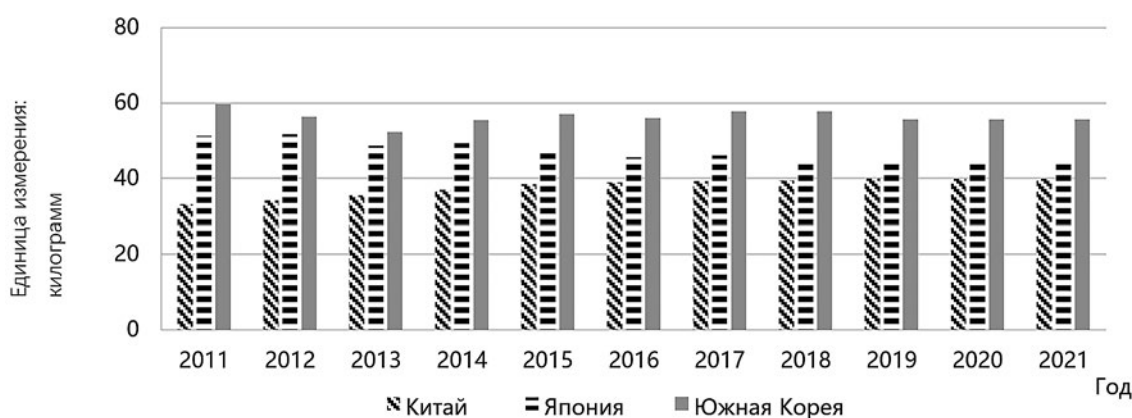


Рис. 2. Потребление рыбы на душу населения в Северо-Восточной Азии.

Источник: Статистика FAO. Примечание: без учёта водных млекопитающих и водорослей.

Fig. 2. Fish consumption per capita in Northeast Asia

Source: FAO Statistics. Note: excluding aquatic mammals and algae

привычки в Китае, Японии и Южной Корее, различия в уровне потребления рыбной продукции на душу населения обусловлены структурой потребления животного белка в Китае, которую можно охарактеризовать как «один высокий и два низких»: высокий уровень потребления мяса и низкий – рыбной продукции и молочных продуктов. В Южной Корее доля белка из рыбной продукции в 1983 году составляла 63%, а частота потребления блюд из морепродуктов остаётся стабильно высокой; в 2017 году Южная Корея занимала первое место в мире по среднему потреблению рыбной продукции. В Японии среднее потребление рыбной продукции в 2011 году оказалось ниже потребления мяса. Однако, несмотря на общий нисходящий тренд, Япония остаётся крупным потребителем рыбной продукции.

Реальный объём потребления рыбной продукции в стране определяется как общий объём внутреннего предложения за вычетом непищевого потребления. При этом общий объём внутреннего предложения рассчитывается как суммарный объём производства рыбной продукции за вычетом объёмов продаж продукции глубоководного рыболовства за рубежом и чистого экспорта. Согласно расчётам Центра исследований стратегии развития рыболовства Китайской академии рыбохозяйственных наук, основанным на этой методологии и соответствующих параметрах, в период с 2013 по 2022 годы объём пищевого потребления животной рыбной продукции (в свежем весе) в Китае увеличился с 32,7 млн тонн до 48,37 млн тонн, демон-

стрируя среднегодовой темп роста 4,45%. Потребление водорослевой продукции увеличилось с 6,05 млн тонн до 7,74 млн тонн, со среднегодовым темпом роста 3,18%. Среднедушевое потребление животной рыбной продукции выросло с 23,92 кг до 34,26 кг, а среднедушевое потребление водорослевой продукции (в свежем весе) увеличилось с 4,42 кг до 5,4 кг.

## 2. Модернизация структуры потребления рыбной продукции

В условиях роста потребления рыбной продукции и изменения потребностей в улучшении структуры питания, рынок рыбной продукции в Китае адаптируется к этим изменениям. Увеличивается потребление высококачественной отечественной аквакультурной продукции, включая такие виды, как каменный окунь (группер) *Epinephelus*, косатка-скрипун *Pelteobagrus fulvidraco*, форель *Oncorhynchus mykiss*, жёлтый горбыль *Larimichthys crocea*, угорь *Anguilla japonica*, трепанг *Apostichopus sp.*, голубой краб *Scylla serrata* и китайский окунь *Siniperca chuatsi*. Согласно прогнозам FAO, к 2030 году мировой объём производства аквакультурной рыбной продукции достигнет 202 млн тонн, при этом Китай будет играть ключевую роль в этом процессе.

Кроме того, рыбная продукция с высокой экономической ценностью, такая как тунец и лосось, становится новым драйвером роста рыболовной отрасли Китая. Видимое потребление тунца на китайском рынке демонстрирует устойчивую восходящую тенденцию (рис. 3), достигнув пика в 42,3 тыс. тонн в 2019 году,

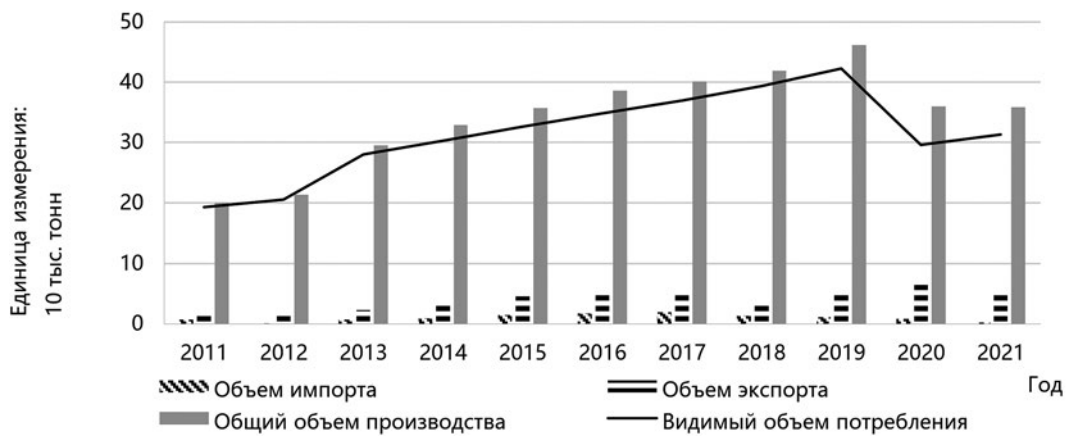


Рис. 3. Видимое потребление тунца на рынке Китая.

Примечание: Данные по общему объёму производства взяты из «Статистического ежегодника рыболовства Китая». Данные по торговле получены из базы данных FishStatJ Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (FAO). Статистика включает следующие виды: живой, свежий или охлаждённый, замороженный длиннопёрый тунец, большеглазый тунец, тихоокеанский голубой тунец, атлантический голубой тунец, южный синий тунец, желтопёрый тунец и скипджек (полосатый тунец)

Fig. 3. Apparent tuna consumption in the Chinese market.

Note: The total production data is taken from the China Fisheries Statistical Yearbook. Trade data is obtained from the FishStatJ database of the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). The statistics include the following species: live, fresh or chilled, frozen longhorn tuna, bigeye tuna, Pacific bluefin tuna, Atlantic bluefin tuna, southern bluefin tuna, yellowfin tuna and skipjack (striped tuna)

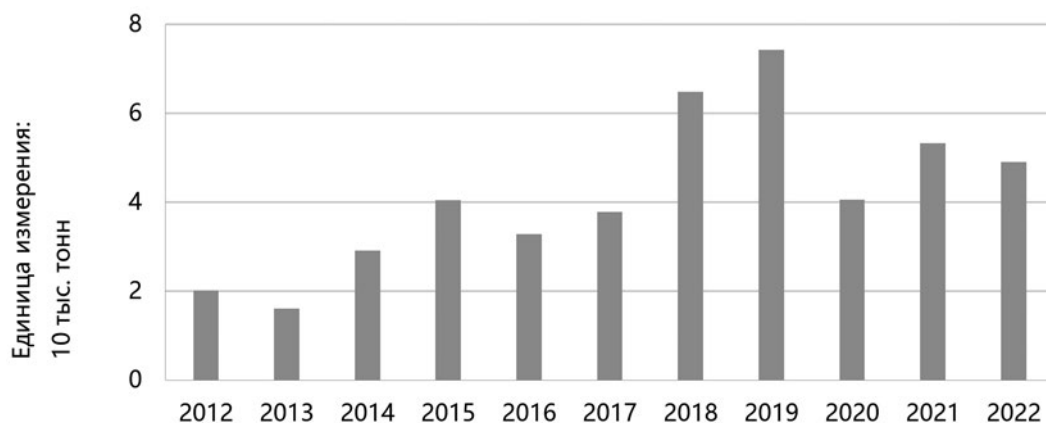


Рис. 4. Объем импорта лосося в Китае.

Источник: Главное таможенное управление Китая

Fig. 4. The volume of salmon imports in China.

Source: China General Administration of Customs

хотя в 2020 году наблюдалось снижение из-за воздействия пандемии COVID-19. В отношении потребления лосося отмечается значительный рост продаж импортируемого атлантического лосося. В 2022 году лосось был включен в национальные рекомендации по питанию как один из ключевых источников высококачественного белка и вошел в меню морепродуктов для зимних Олимпийских игр (рис. 4).

### 3. Диверсификация каналов сбыта и потребления

Начиная со второго десятилетия XXI века активно развиваются технологии «интернет+», холодовая цепь логистики и услуги доставки, что привело к ежегодному росту объемов продаж рыбной продукции. Во время пандемии COVID-19 объемы продаж свежих продуктов на платформах электронной коммерции, таких как JD.com, Nema, Meituan и Dingdong Maicai, выросли более чем в три раза, что значительно увеличило масштабы реализации рыбной продукции. Новые платформы электронной торговли свежими продуктами обеспечивают высококачественный сервис, расширяют возможности потребителей для онлайн-покупок рыбной продукции и эффективно удовлетворяют их разнообразными потребностями. В 2023 году развитие индустрии готовых блюд было включено в документ № 1 ЦК КПК, а блюдо из рыбы с пикулями (приготовленная на пару рыба с маринованной китайской капустой) стало лидером продаж среди готовых блюд в прямых трансляциях на платформе Таобао в 2022 году, показав годовой прирост продаж на 16,80%<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Аймэй Консалтинг. Отчёт о потребителях готовых блюд «кисло-острая рыба» в Китае, 2022 [ЕВ/ОЛ]. (2022-09-21) [2023-01-19]. 艾媒咨询.《2022年中国酸菜鱼预制菜消费者洞察报告》[ЕВ/ОЛ].(2022-09-21) [2023-01-19]. <https://www.iimedia.cn/c400/88525.html>.

## II. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕНДЕНЦИЙ ПОТРЕБЛЕНИЯ РЫБНОЙ ПРОДУКЦИИ ЖИТЕЛЯМИ КИТАЯ

Для обеспечения безопасного предложения рыбной продукции и дальнейшего анализа будущих тенденций потребления крайне важно изучить особенности потребления рыбной продукции в Китае. На основе данных за 2011-2022 годы авторы построили модели GM(1,1) и GM(1, N) для прогнозирования объёма потребления рыбной продукции жителями Китая на следующем этапе.

### 1. Принципы моделирования

Модели серого прогнозирования позволяют выявлять закономерности в данных путём обработки исходной информации, что обеспечивает возможность научного предсказания будущих тенденций. Модель серого прогнозирования GM(1,1) эффективна в условиях ограниченного объёма данных и небольшого количества наблюдений. Благодаря своей простоте и использованию единственного фактора эта модель широко применяется. Однако модель GM(1,1) учитывает только саму независимую переменную и не принимает во внимание влияние других факторов на результаты прогнозирования. Поскольку потребление рыбной продукции населением зависит от множества факторов, для повышения точности прогноза и уменьшения погрешности был проведен серый реляционный анализ для выбора факторов, влияющих на потребление рыбной продукции, и на основе модели GM(1,1) разработана модель серого прогнозирования GM(1, N), где N – количество связанных факторов.

Принципы работы модели GM(1, N) заключаются в следующем:

Пусть  $X_1^{(0)} = \{x_1^{(0)}(1), x_1^{(0)}(2), \dots, x_1^{(0)}(n)\}$  – исходная последовательность данных о среднеловом потреблении рыбной продукции, а

$$X_2^{(0)} = \{x_2^{(0)}(1), x_2^{(0)}(2), \dots, x_2^{(0)}(n)\};$$

$$X_3^{(0)} = \{x_3^{(0)}(1), x_3^{(0)}(2), \dots, x_3^{(0)}(n)\};$$

.....

$$X_N^{(0)} = \{x_N^{(0)}(1), x_N^{(0)}(2), \dots, x_N^{(0)}(n)\}.$$

– последовательности данных, соответствующие связанным факторам.

При этом  $X_i^{(1)}$  – последовательность первого порядка накопления для  $X_i^{(0)}$   $i = 1, 2, \dots, N$ , определяемая как:

$$x_i^{(1)}(k) = \sum_{k=1}^n x_i^{(0)}(k), \quad i=1, 2, \dots, N, \quad (1)$$

где:  $Z_i^{(1)}$  – последовательность, сформированная как среднее значение соседних элементов  $X_i^{(1)}$ , модель GM(1, N) описывается уравнением:

$$Z_1^{(1)}(k) = \frac{1}{2} [x_1^{(1)}(k) + x_1^{(1)}(k-1)], \quad k=2, 3, \dots, n; \quad (2)$$

$$x_1^{(0)}(k) + a z_1^{(1)}(k) = \sum_{i=2}^N b_i x_i^{(1)}(k), \quad (3)$$

где:  $a$  – коэффициент развития;  $b_i$  – коэффициенты драйверов;  $b_i x_i^{(1)}(k)$  – члены драйверов.

## 2. Серый реляционный анализ

Серый реляционный анализ используется для оценки степени взаимосвязи между независимыми и зависимыми переменными, что позволяет определить ключевые факторы, влияющие на потребление рыбной продукции. Потребление рыбной продукции населением зависит от множества факторов. С учётом точности и доступности данных, а также ссылаясь на

исследования Чэнь Ци [2016], Гао Цзиньтяня с соавторами [2013] и других учёных, на основе статистических данных за 2011-2022 годы из «Китайского статистического ежегодника» и «Статистического ежегодника рыболовства Китая» были выбраны следующие факторы, влияющие на потребление рыбной продукции населением ( $Y$ ): общий объём производства рыбной продукции ( $X_1$ ), численность населения ( $X_2$ ), уровень урбанизации ( $X_3$ ) и располагаемый доход населения ( $X_4$ ). Цена рыбной продукции является важным фактором, влияющим на объём потребления, однако она подвержена значительным колебаниям под воздействием множества факторов, поэтому вместо цены были использованы другие показатели. Поскольку значения выбранных факторов, влияющих на потребление рыбной продукции, существенно различаются, прямой расчёт на основе исходных данных затруднён. Для этого требуется нормализация данных. В данном исследовании используются временные ряды, демонстрирующие восходящий тренд, поэтому для приведения данных к стандартному виду применён метод начальной нормализации, результаты которого представлены в таблице нормализованных данных (табл. 1).

На основе анализа нормализованных данных были получены последовательности разностей (табл. 2), а также максимальная и минимальная разности. Последовательность разностей определяется как:  $\Delta_{0i}(k) = |x'_0(k) - x'_i(k)|$ ,  $k=1, 2, \dots, n$ , максимальное расхождение составляет:  $M = \text{Max}_i \text{Max}_k \Delta_i(k) = 1.5277$ , минимальная разность:  $m = \text{Min}_i \text{Min}_k \Delta_i(k) = 0$ .

С использованием формулы коэффициента корреляции:  $\rho(x_0(k), x_i(k)) = (m + \rho M) / D_{0i}(k) + \rho M$ , где:  $\rho$  – коэффициент разрешения,  $\rho \in (0, 1)$ , обычно принимае-

Таблица 1. Таблица нормализованных данных

Table 1. Table of normalized data

Год	Y	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>
2011	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2012	1.0861	0.9820	1.0074	1.0245	1.1431
2013	1.0425	1.0252	1.0134	1.0513	1.2753
2014	1.0899	1.0712	1.0202	1.0756	1.4140
2015	1.1358	1.1085	1.0253	1.1061	1.5477
2016	1.1637	1.1385	1.0320	1.1352	1.6894
2017	1.1804	1.1503	1.0377	1.1622	1.8524
2018	1.1746	1.1525	1.0417	1.1866	2.0208
2019	1.4059	1.1565	1.0451	1.2099	2.2075
2020	1.4390	1.1688	1.0467	1.2327	2.3154
2021	1.4706	1.1940	1.0470	1.2487	2.5276
2022	1.4387	1.2255	1.0464	1.2583	2.6523

Таблица 2. Значения последовательности разностей  
Table 2. Values of the sequence of differences

Год	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>
2011	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2012	0.0180	0.0075	0.0245	0.1431
2013	0.0252	0.0134	0.0513	0.2753
2014	0.0712	0.0202	0.0756	0.4140
2015	0.1085	0.0253	0.1061	0.5477
2016	0.1385	0.0320	0.1352	0.6894
2017	0.1503	0.0378	0.1623	0.8524
2018	0.1525	0.0417	0.1866	1.0208
2019	0.1565	0.0452	0.2099	1.2075
2020	0.1688	0.0467	0.2327	1.3154
2021	0.1940	0.0470	0.2487	1.5276
2022	0.2254	0.0464	0.2583	1.6523

мый равным  $\rho=0,5$ , были рассчитаны серые реляционные коэффициенты (табл. 3).

На основе серых реляционных коэффициентов и формулы степени корреляции:  $\rho(x_0(k), x_i(k)) = (m + \rho M) / D_{0i}(k) + \rho M$ ,  $i=0, 1, 2, \dots, m$ , были рассчитаны степени корреляции между потреблением рыбной продукции населением и каждым из факторов. Результаты показали следующие значения:  $X1(t)=0.8725$ ,  $X2(t)=0.9623$ ,  $X3(t)=0.8520$ ,  $X4(t)=0.5532$ . Общий объём производства рыбной продукции, численность населения и уровень урбанизации демонстрируют высокую степень корреляции с потреблением рыбной продукции населением, что делает их основными факторами, влияющими на потребление. На основании этого в качестве входных показателей модели GM(1, N) были выбраны общий объём производства

рыбной продукции (X1), численность населения (X2) и уровень урбанизации (X3), а потребление рыбной продукции населением (Y) – в качестве выходного показателя, чтобы обеспечить получение точных прогнозных результатов.

### 3. Проверка точности моделей

Для подтверждения применимости моделей серого прогнозирования была проведена проверка их точности. Результаты проверки точности модели GM(1,1) показали следующие значения: (Q = 0.03), (C = 0.31), (P = 1). Для модели GM(1, N) результаты проверки точности составили: (Q = 0.06), (C = 0.40), (P = 0.92). Сравнение с таблицей уровней точности моделей серого прогнозирования (табл. 4) показывает, что модели GM(1,1) и GM(1, N) обладают высоким уровнем точ-

Таблица 3. Серые реляционные коэффициенты  
Table 3. Gray correlation coefficients

Год	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>
2011	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2012	0.9769	0.9903	0.9689	0.8422
2013	0.9681	0.9827	0.9370	0.7351
2014	0.9148	0.9742	0.9099	0.6485
2015	0.8757	0.9680	0.8780	0.5824
2016	0.8465	0.9598	0.8496	0.5256
2017	0.8356	0.9529	0.8248	0.4726
2018	0.8336	0.9482	0.8037	0.4280
2019	0.8299	0.9442	0.7844	0.3875
2020	0.8190	0.9424	0.7665	0.3674
2021	0.7974	0.9420	0.7544	0.3333
2022	0.7722	0.9427	0.7473	0.3161

**Таблица 4.** Уровни точности моделей серого прогнозирования  
**Table 4.** Accuracy levels of gray prediction models

Уровни точности	C	P
1-й уровень (лучший)	$\leq 0.35$	$\geq 0.95$
2-й уровень (хороший)	$0.35 < C \leq 0.45$	$0.80 \leq P < 0.95$
3-й уровень (удовлетворительно)	$0.45 < C \leq 0.65$	$0.70 \leq P < 0.80$
4-й уровень (неудовлетворительно)	$> 0.65$	$< 0.70$

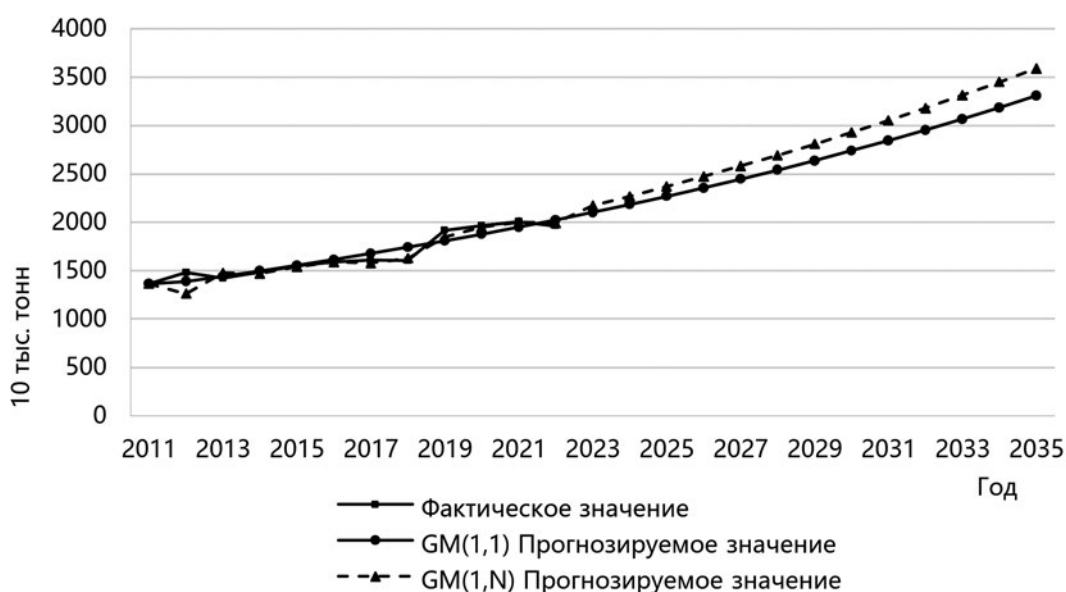
ности прогнозирования. При этом меньшие значения относительной остаточной ошибки (Q) и отношения дисперсий (C) указывают на более высокий уровень точности, тогда как более высокое значение вероятности малой ошибки (P) свидетельствует о более высоком уровне точности модели [Цай, 2019].

#### 4. Прогнозный анализ

Для дальнейшей проверки точности и применимости моделей необходимо рассчитать ошибку между фактическими и прогнозируемыми значениями общего потребления рыбной продукции населением (рис. 5). Сравнение с фактическими значениями показало, что средняя относительная ошибка моделей GM(1,1) и GM(1, N) составляет 3,19% и 2,53% соответственно (табл. 5). Для модели GM(1, N) относительная ошибка в первые два года была относительно высокой, тогда как в остальные годы ошибка была незначительной, при этом средняя относительная ошибка за последние 8 лет составила всего 1,54%. Особенности модели GM(1, N) обуславливают более высокую

ошибку в первые два года по сравнению с другими годами [Шу, 2018].

С использованием модели GM(1,1) были рассчитаны прогнозные значения для X1, X2 и X3. Эти прогнозные значения были добавлены к исходным данным, сформировав новую последовательность данных, на основе которой модель GM(1, N) использовалась для прогнозирования потребления рыбной продукции населением. С помощью моделей серого прогнозирования GM(1,1) и GM(1, N) был выполнен прогноз потребления рыбной продукции населением на период 2023-2035 годов, результаты которого представлены в табл. 6. Модель GM(1, N), применяемая для прогнозирования с использованием нескольких переменных (N переменных), обеспечивает более высокую точность по сравнению с моделью GM(1,1), которая учитывает только одну зависимую и одну независимую переменную, особенно в краткосрочных прогнозах. Поэтому в данном исследовании для прогнозирования общего потребления рыбной продукции населением были использованы данные модели GM(1, N).



**Рис. 5.** Прогнозируемые значения общего потребления рыбной продукции населением  
**Fig. 5.** Projected values of total consumption of fish products by the population

**Таблица 5.** Фактические и прогнозируемые значения для различных моделей  
**Table 5.** Actual and predicted values for various models

Год	Фактическое значение	GM (1,1) прогнозируемое значение	Относительная погрешность, %	GM (1,N) прогнозируемое значение	Относительная погрешность, %
2011	1364.00	1364.00	0.00	1364.00	0.00
2012	1481.55	1388.80	-6.26	1260.34	-14.93
2013	1421.95	1442.30	1.43	1474.55	3.70
2014	1486.58	1497.70	0.75	1470.73	-1.07
2015	1549.25	1555.30	0.39	1539.37	-0.64
2016	1587.24	1615.10	1.76	1590.74	0.22
2017	1610.12	1677.30	4.17	1578.99	-1.93
2018	1602.17	1741.80	8.72	1625.76	1.47
2019	1917.71	1808.70	-5.68	1847.10	-3.68
2020	1962.85	1878.30	-4.31	1951.44	-0.58
2021	2005.89	1950.50	-2.76	1997.49	-0.42
2022	1962.33	2025.60	3.22	1995.25	1.68

Примечание: Фактические значения представляют собой потребление рыбной продукции населением, рассчитанное на основе данных «Китайского статистического ежегодника» за 2012-2023 годы.

**Таблица 6.** Прогнозные значения потребления рыбной продукции населением (в 10 тыс. тонн)

**Table 6.** Projected values of consumption of fish products by the population (in 10 thousand tons)

Год	GM (1,1) прогнозируемое значение	GM (1,N) прогнозируемое значение
2023	2103.50	2171.50
2024	2184.40	2267.61
2025	2268.40	2368.81
2026	2355.60	2471.93
2027	2446.20	2580.24
2028	2540.30	2691.85
2029	2638.00	2807.39
2030	2739.40	2927.47
2031	2844.80	3051.06
2032	2954.20	3180.00
2033	3067.80	3312.12
2034	3185.80	3448.69
2035	3308.30	3591.31

Результаты прогноза показывают, что в периоды «четырнадцатой пятилетки» (2021-2025), «пятнадцатой пятилетки» (2026-2030) и в более долгосрочной перспективе общее потребление рыбной продукции населением Китая продолжит расти. К 2035 году объём потребления рыбной продукции, по прогнозам, достигнет 35,91 млн тонн (без учёта водорослевой продукции), что при расчёте с учётом доли съедобной части 54,50% эквивалентно 65,89 млн тонн в свежем весе.

## 5. Обсуждение

В данной статье для прогнозирования потребления рыбной продукции населением использовалась модель серого прогнозирования GM(1, N). Результаты прогноза показывают, что к 2030 году объём потребления рыбной продукции населением Китая (без учёта водорослевой продукции) составит, по оценкам, 29,27 млн тонн, а к 2035 году увеличится до 35,91 млн тонн. Эти данные могут служить основой для благо-

временного планирования обеспечения эффективного предложения рыбной продукции в Китае. Поскольку в модели не учитывались возможные изменения экономической политики и влияние непредвиденных событий в будущем, а в предыдущих исследованиях некоторые учёные включали цену рыбной продукции и индекс цен в число факторов, влияющих на потребление, что предоставило дополнительные ориентиры для прогнозирования, в дальнейших исследованиях рекомендуется включать большее количество значимых факторов для повышения точности прогноза модели и уменьшения погрешности.

### III. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УСТОЙЧИВОМУ РАЗВИТИЮ ПОТРЕБЛЕНИЯ РЫБНОЙ ПРОДУКЦИИ В КИТАЕ

#### 1. Использование крупных водоёмов для обеспечения продовольствия и расширение каналов поставок рыбной продукции

На глобальном уровне потребление рыбной продукции демонстрирует тенденцию к росту, а каналы электронной коммерции и такие формы продукции, как готовые блюда, играют определённую роль в стимулировании модернизации потребления рыбной продукции в Китае, что свидетельствует о позитивной динамике развития. В процессе модернизации потребления рыбной продукции в Китае необходимо максимально использовать имеющиеся ресурсы рыболовства в реках, озёрах, морях и водохранилищах, чтобы они служили основой стабильного предложения и способствовали увеличению эффективного предложения продукции аквакультуры. В настоящее время использование крупных водоёмов в Китае сталкивается с негативным восприятием, связанным с односторонним акцентом на отдельные случаи перегрузки ресурсной и экологической среды, а также недостаточным пониманием того, что рыбная продукция является важной частью концепции комплексного продовольственного обеспечения. Это может стать одним из факторов, подрывающих стабильность производства и поставок рыбной продукции. Кроме того, в последние годы площадь аквакультуры в Китае ежегодно сокращается. Для решения этой проблемы органы управления рыбным хозяйством, научно-исследовательские институты, ассоциации и другие участники рыбной отрасли укрепили взаимодействие и сотрудничество, проделав значительную работу по технической поддержке для восстановления доверия к отрасли. Предлагается дальнейшее совершенствование политики, направленной на стимулирование потребления рыбной продукции в новую эпоху, с учё-

том сбалансированного подхода к производственным и экологическим аспектам рыболовства, а также к вопросам развития и безопасности. Необходимо чётко обозначить политические сигналы и конкретные меры, позволяющие в условиях защиты окружающей среды полноценно использовать ресурсы рек, озёр и морей для развития рыболовства. В целях повышения эффективности предложения продукции аквакультуры рекомендуется разработать на национальном уровне план использования водоёмов и прибрежных зон для аквакультуры, а также законодательно закрепить защиту пространства для развития рыбной отрасли.

#### 2. Активное развитие разведения водных видов с высокой экономической ценностью для укрепления потенциала предложения

В Китае стремительно растёт спрос на рыбную продукцию с высокой экономической ценностью, что объективно отражает высокий спрос на качественные продукты питания, соответствующие стремлению к лучшей жизни. В некоторых регионах наблюдается нехватка внутреннего предложения высококачественной рыбной продукции, тогда как предложение массовых видов продукции практически достигло насыщения. При этом сохраняется дефицит премиальной продукции, что подчёркивает необходимость сосредоточить усилия на повышении качества. Для упорядоченного перехода к предложению рыбной продукции с высокой экономической ценностью следует разработать соответствующие политики, институциональные механизмы и стандарты. Увеличение предложения высококачественной рыбной продукции не только способствует росту потребления, но и оказывает положительное влияние на повышение общей эффективности рыбной отрасли. Начиная с периода «тринадцатой пятилетки» (2016-2020), в рамках национальной системы технологий для современной аквакультуры морских рыб были достигнуты значительные успехи в разработке технологий устойчивого разведения. Китайская академия рыбохозяйственных наук накопила определённый опыт в экспериментальном разведении желтопёрого тунца, теоретических исследованиях разведения южного синего тунца и инновациях в области генетического материала.

#### 3. Реализация стратегической ценности рыбной продукции и усиление пропаганды культуры потребления

В соответствии с целями «Руководства по питанию для населения Китая» предлагается установить целевые показатели потребления рыбной продукции, чтобы повысить её стратегическую роль в продоволь-

ственной системе. Необходимо провести количественный анализ соотношения спроса и предложения рыбной продукции на период «четырнадцатой пятилетки» (2021-2025) и в более долгосрочной перспективе, скорректировать структуру потребления рыбной продукции по сравнению с мясом птицы и скота, а также оптимизировать направления потребления рыбной продукции. Это позволит правительству заранее оценить эффективность макроэкономической политики и подготовить соответствующие меры. Рекомендуется активно использовать различные каналы пропаганды, включая популяризацию знаний о рыбной продукции и проведение образовательных программ по питанию для населения, чтобы укрепить культурные традиции и усилить защиту и пропаганду рыболовной культуры, включая культуру потребления рыбной продукции, для содействия процветанию отрасли. Кроме того, на основе регулярных исследований динамики потребления следует проводить целенаправленный анализ эффективности политики рыбной отрасли с позиций производства и потребления, чтобы обеспечить точечное продвижение высококачественного развития рыболовства.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

### Финансирование

Работа выполнена в порядке личной инициативы.

### ЛИТЕРАТУРА

- Гао Ц., Ли Ц., Лю Т. 2013. Тенденции спроса на водные продукты у населения Китая и анализ факторов, на него влияющих // сборник Дунъюэ. Т. 34(1):118-123. (Кит.: 高金田, 李京梅, 刘铁鹰. 中国水产品居民消费需求趋势及影响因素分析[J]. 东岳论丛, 2013, 34(1):118-123.)
- Ли Ж. 2018. Исследование направлений развития водной отрасли в условиях структурной реформы со стороны предложения // Рынок Китая. Т. 9:71-72. (Кит.: 李瑞琦. 供给侧结构性改革背景下水产业发展方向研究[J]. 中国市场, 2018(9):71-72.)
- Ли С., Гао С., Чжао Л., Лю Ц., Сюй Л. 2024. Оценка и анализ потребления водных продуктов населением Китая // Экономика рыбного хозяйства Китая. Т. 2:95-104. (Кит.: 李雪, 高翔, 赵蕾, 刘聪等. 中国居民水产品食用消费量测算与分析[J]. 中国渔业经济, 2024, (2):95-104.)
- Лу Ч. 2022. Комплексное обеспечение стабильного производства и поставок рыбы в Тайчжоу с позиции «большого продовольственного подхода» // Рыбное хозяйство Китая. Т. 8:59-62. (Кит.: 卢昌彩. 用大食物观统筹台州渔业稳产保供[J]. 中国水产, 2022(8):59-62.)
- Ма Ц., Цзоу Ч., Пань И., Ли И. 2018. Исследование новых моделей потребления водных продуктов на примере Hema Fresh // Торговые исследования Китая. Т. 11:75-76. (Кит.: 马君亦, 邹舟, 潘怡洁等. 水产品消费新模式研究:以盒马鲜生为例[J]. 中国商论, 2018(11):75-76.)
- Статистический ежегодник рыбного хозяйства Китая. 2023. Бюро рыболовства и рыболовного надзора Министерства сельского хозяйства и сельских дел КНР, Национальная станция по продвижению технологий в рыбном хозяйстве, Китайское общество рыбного хозяйства. Пекин: Китайское с./х. изд-во. С. 180 (Кит.: 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 2022 中国渔业统计年鉴[M]. 北京:中国农业出版社, 2022.)
- Сунь Ц., Лу Л. 2007. Анализ факторов, влияющих на рынок потребления водных продуктов Китая // Журнал Далиньского морского университета (сер. общественных наук). Т. 6:98-100. (Кит.: 孙建富, 鹿丽. 中国水产品消费市场影响因素分析[J]. 大连海事大学学报(社会科学版), 2007(6):98-100.)
- Сунь Ч. 2000. Анализ баланса спроса и предложения на рынке водных продуктов Китая // Исследования экономики рыбного хозяйства Китая. Т. 3:28-29. (Кит.: 孙琛. 我国水产品市场供需平衡分析[J]. 中国渔业经济研究, 2000(3):28-29.)
- Тан Ч., Чжан С. 2005. Анализ факторов, влияющих на потребление водных продуктов городскими жителями Китая // Экономика рыбного хозяйства Китая. Т. 5:41-43. (Кит.: 谭城, 张小栓. 我国城镇居民水产品消费影响因素分析[J]. 中国渔业经济, 2005(5):41-43.)
- Хань С., Чжоу Г., Ли И. 2015. Анализ особенностей потребления в сфере электронной коммерции свежих водных продуктов – на примере Янцзы, Чжэцзяна и Шанхая // Торговые исследования Китая. Т. 24:65-67. (Кит.: 韩笑, 周桂娴, 李怡芳. 水产品生鲜电商的消费特点分析——以江浙沪为例[J]. 中国商论, 2015(24):65-67.)
- Ху Ц., Ван Я. 2009. Анализ особенностей потребления водных продуктов в Китае и факторов, на него влияющих // Проблемы аграрной экономики. Т. 4:97-102. (Кит.: 胡求光, 王艳芬. 我国水产品的消费特征及其影响因素分析[J]. 农业经济问题, 2009(4):97-102.)
- Цай С. 2019. Эмпирический анализ применения многофакторной серой прогностической модели первого порядка GM(1, N) // Журнал Харбинского педагогического университета (естественные науки). Т. 35(1):31-35. (Кит.: 蔡素丽. 一阶多变量灰色预测模型GM(1, N)应用实证分析[J]. 哈尔滨师范大学自然科学学报, 2019, 35 (1):31-35.)
- Чжао Ю., Лю Ц., У Ц., Цао Х., Оу Ц., Пань И. 2021. Питательная ценность и польза для здоровья водных продуктов в концепции «взаимодополняемости суши и воды» // Журнал рыбного хозяйства. Т. 45(7):1235-1247. (Кит.: 赵勇, 刘静, 吴倩等. “水陆互补”理念下的水产品营养健康功效[J]. 水产学报, 2021, 45(7):1235-1247.)
- Чжун Ж., Чэнь Ц., Лю Х., Ли Ж. 2020. Текущее состояние и меры развития отрасли электронной коммерции свежих водных продуктов в провинции Гуандун // Сельскохозяйственная наука Тяньцзиня. Т. 26(1):50-53. (Кит.: 钟锐宇, 陈金玉, 刘华等. 广东省水产品生鲜电商行业现状与对策分析[J]. 天津农业科学, 2020, 26(1):50-53.)
- Чэнь Ц., Хань Л. 2016. Анализ и прогноз факторов, влияющих на спрос домашних хозяйств на водные продукты // Ста-

- тистика и решения. Т. 17:97-100. (Кит.: 陈琦, 韩立民. 居民家庭水产品消费需求影响因素分析与预测[J].统计与决策,2016(17):97-100.).
- Шу Ф. 2018. Прогнозирование общего объема личных сбережений жителей города Чунцин на основе модели GM(1, N) // Журнал Чунцинского колледжа Три ущелья. Т. 34(6):46-52. (Кит.: 舒服华. 基于GM(1, N)的重庆市居民个人储蓄总额预测[J].重庆三峡学院学报,2018,34(6):46-52.).
- Birch D., Lawley M. 2012. Buying seafood: Understanding barriers to purchase across consumption segments // Food Quality and Preference. V. 26 (1):12-21. DOI: 10.1016/j.foodqual.2012.03.004
- Boase N.J., White M.P., Gaze W.H., Redshaw C.H. 2019. Why don't the British eat locally harvested shellfish? The role of misconceptions and knowledge gaps // Appetite. V. 143:104352. DOI: 10.1016/j.appet.2019.104352.
- Carlucci D., Nocella G., De Devitiis B., Viscecchia R., Bimbo F., Nardone G. 2015. Consumer purchasing behaviour towards fish and seafood products. Patterns and insights from a sample of international studies // Appetite. V. 84:212-227. DOI: 10.1016/j.appet.2014.10.008.
- Hoerterer C., Petereit J., Krause G. 2022. Informed choice: The role of knowledge in the willingness to consume aquaculture products of different groups in Germany // Aquaculture. V. 556:738319.
- Jacobs S., Sioen I., Pieniak Z., De Henauw S., Maulvault A.L., Reuver M., Fait G., Cano-Sancho G., Verbeke W. 2015. Consumers health risk-benefit perception of seafood and attitude toward the marine environment: Insights from five European countries // Environmental Research. V. 143:11-19.
- Pieniak Z., Verbeke W., Olsen S.O. Hansen K.B., Brunsø K. 2010. Health-related attitudes as a basis for segmenting European fish consumers // Food Policy. V. 35(5):448-455. DOI: 10.1111/j.1365-277X.2010.01045.x.
- The state of world fisheries and aquaculture 2022: towards blue transformation. 2022. Rome, FAO. 440 p. doi.org/10.4060/cc0463en
- REFERENCES**
- Gao Ts., Li Ts., Liu T. 2013. Trends in demand for aquatic products among the Chinese population and analysis of factors affecting it // Dong Yue Collection. V. 34(1):118-123. (In Chinese).
- Lee J. 2018. A study of the development directions of the water industry in the context of supply-side structural reform // China Market. V. 9:71-72. (In Chinese).
- Li S., Gao S., Zhao L., Liu C., Xu L. 2024. Assessment and analysis of the consumption of aquatic products by the Chinese population // The economics of China's fisheries. V. 2:95-104. (In Chinese).
- Lu H. 2022. Comprehensive provision of stable fish production and supply in Taizhou from the perspective of the «big food approach» // Fisheries of China. V. 8:59-62. (In Chinese).
- Ma Ts., Zou Ch., Pan I., Li I. 2018. Research of new patterns of consumption of aquatic products using the example of Hema Fresh // Trade Studies of China. V. 11:75-76. (In Chinese).
- Statistical Yearbook of China's Fisheries. 2023. Bureau of Fisheries and Fisheries Supervision of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, National Fisheries Technology Promotion Station, Chinese Fisheries Society. Beijing: Chinese Agricultural Publishing House. 180 p. (In Chinese).
- Sun C., Lu L. 2007. Analysis of factors influencing the Chinese water products consumption market // Journal of Dalian Maritime University (ser. of Social Sciences). V. 6:98-100. (In Chinese).
- Sun H. 2000. Analysis of the balance of supply and demand in the Chinese water products market // Studies of the Chinese Fisheries Economy. V. 3:28-29. (In Chinese).
- Tang Ch., Zhang S. 2005. Analysis of the factors influencing the consumption of aquatic products by urban residents of China // The economics of China's fisheries. V. 5:41-43. (In Chinese).
- Han S., Zhou G., Li I. 2015. Analysis of the peculiarities of consumption in the field of e-commerce of fresh aquatic products – using the example of Yangtze, Zhejiang and Shanghai // China's Trade research. V. 24:65-67. (In Chinese).
- Hu Ts., Wang Ya. 2009. Analysis of the peculiarities of consumption of aquatic products in China and the factors influencing it // Problems of the agrarian economy. V. 4:97-102. (In Chinese).
- Tsai S. 2019. Empirical analysis of the application of a multifactorial gray predictive model of the first order GM(1, N) // Journal of Harbin Pedagogical University (Natural Sciences). V. 35(1):31-35. (In Chinese).
- Zhao Yu., Liu C., Wu C., Cao H., Ou C., Pan I. 2021. Nutritional value and health benefits of aquatic products in the concept of «complementarity of land and water» // Journal of Fisheries. V. 45(7):1235-1247. (In Chinese).
- Zhong J., Chen C., Liu H., Li J. 2020. The current state and development measures of the e-commerce industry of fresh aquatic products in Guangdong Province // Agricultural Science of Tianjin. V. 26(1):50-53. (In Chinese).
- Chen C., Han L. 2016. Analysis and forecast of factors influencing household demand for water products // Statistics and solutions. V. 17:97-100. (In Chinese).
- Shu F. 2018. Forecasting the total amount of personal savings of residents of Chongqing based on the GM(1, N) model // Journal of Chongqing College Three Gorges. V. 34(6):46-52. (In Chinese).

Поступила в редакцию 21.05.2025 г.  
Принята после рецензий 12.08.2025 г.



УДК: 338.436

**Экономика, международное сотрудничество и нормативные правовые основы  
рыбохозяйственной деятельности**

## **Влияние холдингизации на динамику финансовых показателей рыбодобывающей отрасли России в 2014-2023 годах**

Г.С. Зверев

Всероссийская ассоциация рыбохозяйственных предприятий, предпринимателей и экспортеров (НО «ВАРПЭ»), ул. Петровка, д. 23/10, стр. 5, Москва, 107031

E-mail: Varpe@varpe.org

**Цель работы:** комплексная оценка влияния процессов холдингизации на финансовые показатели предприятий рыбодобывающей отрасли России в 2014-2023 годах. **Материалы и методы:** в исследовании проанализированы данные 20 крупнейших холдингов рыбодобывающего сектора. Для оценки концентрации отрасли использованы коэффициент рыночной концентрации и индекс Херфиндаля-Хиршмана. Оценка взаимосвязи между концентрацией и финансовыми показателями выявлена с помощью корреляционного и графического анализов. **Результаты:** установлено, что крупные холдинги демонстрируют более высокие финансовые результаты в периоды экономической стабильности, но проявляют значительную уязвимость в период сложной экономической ситуации. **Новизна исследования:** использована комплексная методика оценки структурных изменений рыбодобывающей отрасли, сочетающая анализ концентрации рынка и финансовых показателей, что позволило выявить недостатки используемых некоторых традиционных статистических показателей и ключевую роль управления долговой нагрузкой в условиях санкций. **Практическая значимость:** результаты могут быть применены регуляторами для совершенствования программ государственной поддержки отрасли с учётом рисков чрезмерной концентрации, а также предприятиями для повышения финансовой устойчивости.

**Ключевые слова:** концентрация отрасли, холдингизация, финансовые показатели, рыбодобывающая отрасль, инвестиционные квоты.

## **The effect of corporate consolidation on financial performance trends in Russia's fishing sector from 2014 to 2023**

German S. Zverev

All-Russia Association of Fisheries Enterprises, Entrepreneurs and Exporters («VARPE»), 23/10 building 5, Petrovka st., Moscow, 107031, Russia

**Objective:** Comprehensive assessment of the impact of consolidation processes on the financial performance of the Russian fisheries sector from 2014 to 2023. **Materials and Methods:** The analysis is based on data from the 20 largest holding companies in the fishing industry. Industry concentration was evaluated using the concentration ratio and the Herfindahl-Hirschman Index. Correlation and visual analysis were employed to examine the relationship between concentration levels and key financial indicators. **Results:** The findings indicate that holdings tend to perform better financially during periods of economic stability, yet exhibit increased vulnerability during times of economic turbulence. **Scientific novelty:** The study used a comprehensive methodology for assessing structural changes in the Russian fishing industry, combining market concentration analysis and financial performance indicators, revealing limitations of certain traditional statistical indicators and highlighting the key role of debt load management under sanctions. **Practical Significance:** The findings can guide regulators in refining state support programs for the industry, accounting for risks of excessive market concentration and assist enterprises in enhancing financial resilience through improved debt and operational management.

**Keywords:** industry concentration, consolidation, financial indicators, fisheries sector, investment quotas.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Холдингизация сектора АПК, включая рыбопромышленную отрасль, выражающуюся в консолидации предприятий в крупные корпоративные структуры, стала ключевой тенденцией отрасли, существенно изменив структуру рынка и его финансовую динамику [Узун и др., 2022]. Это особенно актуально в условиях

усиливающейся конкуренции, растущей долговой нагрузки и необходимости модернизации рыбопромышленной отрасли.

В советский период рыбопромышленный комплекс представлял собой централизованную систему производственных объединений с развитой инфраструктурой и флотом, но в 1990-е годы распался на множе-

ство разрозненных субъектов [Агунович и др., 2020; Зверев, 2023]. Введение принципа долгосрочного закрепления квот на добычу водных биологических ресурсов стабилизировало отрасль и способствовало её укрупнению. Если в 2004 году в отрасли отсутствовали крупные холдинги, к 2023 году в отрасли работало десять холдингов, из которых двадцать наиболее крупных объединяли 426 предприятий с совокупной выручкой рыбодобывающих предприятий 465 млрд рублей.

Начиная с 2016 года в отрасли реализуется программа инвестиционных квот<sup>1,2</sup>, которая по замыслу регуляторов должна стимулировать модернизацию отрасли, резко увеличив инвестиционную компоненту в финансовых расходах предприятий. Причём, инвестиции должны быть локализованы на российских судостроительных предприятиях. Однако в отличие от прямых субсидий, распространённых в странах АТР [Зверев и др., 2023], программа инвестквот фактически перераспределила квоты в пользу инвесторов, вынуждая предприятия участвовать в программе для сохранения доступа к ресурсам. Отсутствие свободных средств для реализации проектов заставило бизнес активно привлекать кредиты, что вызвало резкий рост долговой нагрузки: к 2024 году кредитное плечо превысило 1 трлн рублей – в 1,5 раза больше годовой выручки отрасли.

Таким образом, холдингизация отрасли создала условия для привлечения крупных инвестиций, но сопутствующий рост долгов предприятий отрасли стал угрозой её финансовой устойчивости. Это изменило структуру рынка, укрепив позиции крупных игроков, способных привлекать кредиты, и ослабив малые предприятия, что повлияло на конкурентную среду.

Настоящее исследование направлено на комплексную оценку влияния процессов холдингизации на структуру и финансовые показатели рыбодобывающей отрасли России в 2014-2023 гг. В рамках работы проведена количественная оценка отраслевой концентрации (CR, ННИ), анализ статистических взаимосвязей с ключевыми финансовыми метриками, а также анализ чувствительности этих показателей к структурным преобразованиям и внешнеэкономическим шокам.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В экономической теории и практике анализ отраслевой концентрации рассматривается как исследование влияния структуры рынка на поведение фирм и их результаты. Фундаментальная работа Джо Бейна

подчёркивает связь высокой концентрации с барьерами входа и снижением конкуренции [Bain, 1956]. Более поздние исследования, включая труды М. Портера, отмечают как положительный эффект масштаба, способствующий инновациям, так и риски монополизации [Porter, 1980; Кабраль, 2003].

Российские исследователи также указывают на преимущества холдингов в оптимизации управления и доступе к ресурсам, одновременно отмечая их склонность к бюрократизации и усилению рыночной власти [Шиткина, 2008; Любященко, Мамонов, 2013]. Среди иных негативных факторов в условиях кризисов бизнес-группы могут использовать внутренние финансовые потоки, но перекрёстное субсидирование повышает риски и не всегда эффективно сказывается на общей эффективности производства всего холдинга [Khanna et al., 2007; Almeida et al., 2015].

Дополняя рыночные факторы, российские исследователи также отмечают роль государственного вмешательства. В частности, поддержка субъектов МСП, входящих в состав холдингов, может способствовать усилению концентрации и искажению конкуренции за счёт неравного доступа к ресурсам [Узун и др., 2022].

Статья методологически разделена на три основных блока, обеспечивающих комплексное изучение холдингизации рыбодобывающей отрасли России и её влияние на финансовые показатели.

### Первый блок – оценка концентрации отрасли.

Проводилась количественная оценка концентрации по данным 20 крупнейших холдингов (426 предприятий, из них 262 – в секторе «рыболовство, рыбоводство») за 2014-2023 годы. Используются коэффициент концентрации и индекс Херфиндаля-Хиршмана (ННИ), рассчитанные на основе оборота, финансовый результат прибыльных предприятий и стоимости активов. Источники данных – база данных Rusprofile и Росстат.

Методология базируется на подходах, широко применяемых в академических и прикладных исследованиях [Коцофана и др., 2011; Любященко, Мамонов, 2013; Pavic et al., 2016; Kvålseth, 2018], а также в антимонопольной практике ряда стран<sup>3,4,5</sup>. Пороговые значения CR и ННИ использовались в соответствии с классификацией конкурентной среды: низкий уровень –  $CR_3 < 0,45$  или  $ННИ < 1000$ ; умеренный – до

<sup>1</sup> Федеральный закон от 3 июля 2016 г. № 349-ФЗ. <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001201607040152>

<sup>2</sup> Федеральный закон от 1 мая 2019 г. № 86-ФЗ. <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001201905010037>

<sup>3</sup> Приказ ФАС России от 28.04.2010 N 220 (ред. от 12.03.2020) «Об утверждении Порядка проведения анализа состояния конкуренции на товарном рынке». <https://fas.gov.ru/documents/576468>

<sup>4</sup> U. S. Department of Justice, Antitrust Division. Herfindahl-Hirschman: <https://www.justice.gov/atr/herfindahl-hirschman-index>.

<sup>5</sup> Европейская комиссия. Руководство по оценке горизонтальных слияний: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52004XC0205\(02\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52004XC0205(02))

0,75 и 2000 соответственно; высокий – свыше этих границ.

Коэффициент рыночной концентрации ( $CR$ ) – сумма долей на товарном рынке (выраженных в процентах) определённого числа ( $n$ ) крупнейших хозяйствующих субъектов, действующих на данном рынке. Расчёт индекса концентрации в статье производится на основании ТОП-3, –5, –10 холдингов по объёму оборота, прибыли и стоимости активов.

$$CR = \sum_{i=1}^n Di.$$

Расчёт индекса Херфиндаля-Хиршмана также проводился по показателям оборота, прибыли и стоимости активов. Индекс измеряет размер компаний по отношению к размеру отрасли, в которой они работают, и степень конкурентоспособности. Рассчитывается путём возведения в квадрат доли рынка каждой компании, конкурирующей на рынке, и последующего суммирования полученных чисел.

$$HHI = s_1^2 + s_2^2 + s_3^2 + s_4^2 + \dots + s_n^2,$$

где  $s$  – процент рыночной доли фирмы  $n$ , выраженным целым числом, а не десятичной дробью.

**Второй блок – корреляционный анализ уровня концентрации рыбодобывающей отрасли и её финансовых показателей.** Для выявления взаимосвязей между уровнем концентрации рынка (измеряемым индексами  $CR$  и  $HHI$ ) и ключевыми финансовыми показателями был проведён корреляционный анализ на основе коэффициента Пирсона. Результаты, представленные в виде тепловой карты матрицы корреляций, позволили визуализировать силу и направление выявленных взаимосвязей.

**Третий блок – анализ описательной способности финансовых показателей.** Проводился графический анализ способности финансовых показателей отражать структурные изменения и финансовую динамику отрасли. Анализ включал абсолютные (выручка, СФР, инвестиции, задолженность) и относительные (рентабельность, инвестиционная активность, структура активов, оборачиваемость) показатели. Исследовалась их динамика в условиях внешнеэкономических шоков (2014-2015, 2022-2023 гг.) и структурных изменений в отрасли.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### 1. Оценка концентрации рыбной промышленности

Анализ показал, что с 2014 по 2023 год в состав анализируемых холдингов вошли путём создания, при-

обретения или преобразования 262 предприятия в сфере «рыболовство, рыбоводство», из которых 122 предприятия на конец 2023 года являлись действующими. Совокупная выручка этих рыбодобывающих компаний выросла с 86 млрд рублей до 465 млрд рублей, а их доля в общем отраслевом обороте выросла с 50 до 71%. С 2017 года отмечается новая волна диверсификации деятельности холдингов за счёт включения как профильных, так и вспомогательных предприятий.

Наибольшая активность по включению предприятий пришлась на 2015 год (48 компаний) и период 2017-2019 годов (107); к 2023 году из них продолжали функционировать 27 и 48 компаний соответственно (рис. 1).

С 2014 года рыбодобывающие холдинги активно расширяли своё присутствие за пределами профильного сегмента, интегрируя предприятия смежных отраслей – переработки, логистики, судостроения и судоремонта. За десятилетие в их состав вошли 158 таких компаний, из которых 121 продолжали функционировать на конец 2023 года. Основные волны прироста пришлись на 2014-2015 годы (56 предприятий, из них в 2023 году действовали 31) и на 2023 год (18 предприятий). С 2020 года численность вспомогательных предприятий, входящих в холдинги, стабильно превышает число организаций, занятых непосредственно в добыче.

Рост участия предприятий смежных сфер в составе холдингов отражает адаптацию к внешним шокам, включая санкции 2014-2015 и 2022 годов, а также последствия пандемии. Консолидация производственных и инфраструктурных звеньев в рамках единой структуры позволила крупным игрокам сократить операционные риски, снизить издержки и укрепить управляемость цепочек поставок, тем самым повысив устойчивость бизнеса в условиях нестабильной внешней среды.

Динамика уровня индекса концентрации по обороту, прибыли и стоимости активов ( $CR_3$ ,  $CR_5$ ,  $CR_{10}$ ) в 2014-2023 годах позволяет сделать следующие выводы (табл. 1):

Во-первых, отмечается рост уровня концентрации в 2018-2020 годы и последующее снижение к 2023 году. Несмотря на тенденцию к росту, значения индекса концентрации по обороту остаются на низком уровне, с индексом для трёх крупнейших холдингов ниже 45%.

Во-вторых, индекс концентрации прибыли увеличился до умеренного уровня в 2016-2022 годах, в среднем достигнув 54%, но затем снизился до 27% в 2023 году. На фоне существенного падения прибыли отрасли снижение концентрации в 2023 году по-

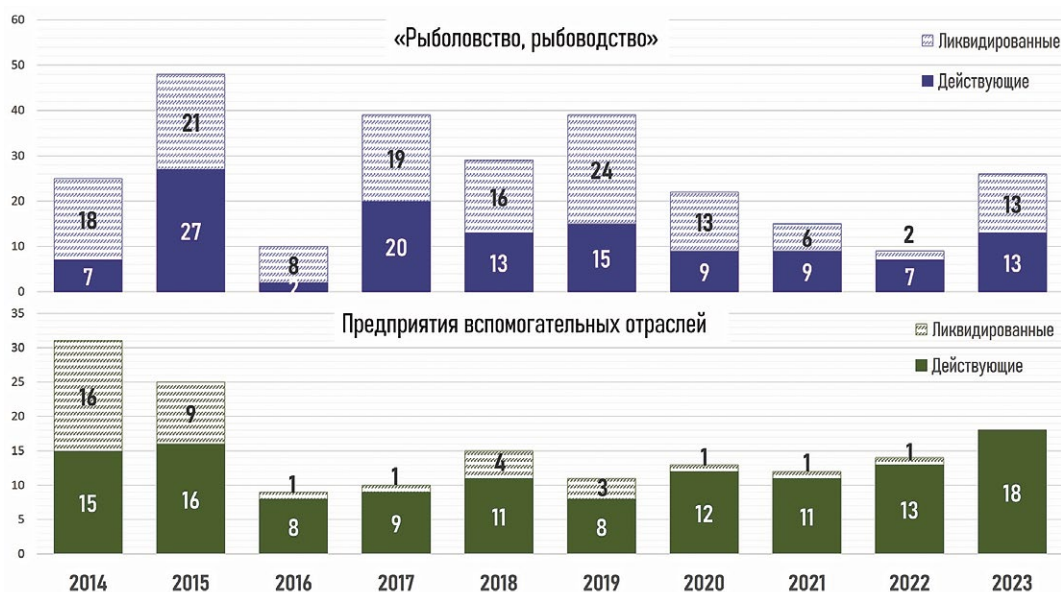


Рис. 1. Гистограмма распределения компаний по годам включения в состав холдинга: 1 – ликвидированные, 2 – действующие<sup>6</sup>

Fig. 1. Histogram of the distribution of companies by year of inclusion in a holding structure: 1 – liquidated, 2 – operating<sup>6</sup>

Таблица 1. Динамика индекс концентрации по обороту, прибыли и стоимости активов отрасли «рыболовства, рыбоводства»<sup>6</sup>

Table 1. Dynamics of concentration indices by revenue, profit, and asset value in the «Fishing and Aquaculture» sector<sup>6</sup>

Год	По обороту			По прибыли прибыльных			По стоимости активов		
	CR <sub>3</sub>	CR <sub>5</sub>	CR <sub>10</sub>	CR <sub>3</sub>	CR <sub>5</sub>	CR <sub>10</sub>	CR <sub>3</sub>	CR <sub>5</sub>	CR <sub>10</sub>
2014	25%	35%	46%	27%	35%	49%	23%	29%	37%
2015	29%	39%	52%	36%	51%	68%	27%	33%	43%
2016	31%	42%	56%	47%	63%	83%	31%	39%	48%
2017	29%	40%	54%	44%	53%	68%	30%	38%	48%
2018	35%	49%	64%	54%	65%	82%	31%	40%	50%
2019	37%	51%	68%	54%	67%	85%	40%	52%	67%
2020	41%	57%	76%	51%	62%	79%	37%	48%	61%
2021	37%	50%	70%	49%	63%	85%	39%	49%	62%
2022	36%	47%	60%	49%	60%	78%	39%	51%	64%
2023	34%	46%	62%	27%	37%	57%	40%	52%	63%

казывает, что крупные компании особенно ощутимо пострадали от введения санкций в отношении России. Это связано с тем, что холдинги преимущественно ведут промысел крупнотоннажным рыбопромысловым флотом, используют высокотехнологичные морские и береговые перерабатывающие мощности и имеют

широкую географию экспортных поставок, т. е. больше зависимы от иностранных контрагентов и валютных операций (необходимость обслуживания флота и оборудования, закупки ЗИПов, взаимодействия с импортёрами и пр.).

Отдельно стоит отметить рост уровня концентрации по стоимости активов топ-3 холдингов, который увеличился с низкого уровня (23% в 2014 году) до умеренного (40% в 2023 году). Также согласно анализу около 64% активов в сфере «рыболовство, рыбо-

<sup>6</sup> Рассчитано автором по данным сервиса проверки и анализа контрагентов Rusprofile. <https://www.rusprofile.ru> и данным ЭМИСС. <https://www.fedstat.ru>

**Таблица 2.** Динамика Индекса Херфиндаля-Хиршмана по обороту, прибыли и стоимости активов отрасли «рыболовства, рыбоводства»<sup>6</sup>**Table 2.** Dynamics of the Herfindahl-Hirschman Index by revenue, profit, and asset value in the «Fishing and Aquaculture» sector<sup>6</sup>

Год	По объему оборота	По объему прибыли	По стоимости активов
2014	336	370,1	244,9
2015	429,1	642,3	350,6
2016	490	1156,8	434,1
2017	447	876,9	402
2018	610	1194,2	421,9
2019	665,6	1158,4	671,2
2020	822,5	1117	584,2
2021	667	1257,4	614,3
2022	577,4	947,1	667,4
2023	561,6	392,6	663,3

водство» сосредоточены в руках десяти крупнейших холдингов.

Динамика концентрации оборота и активов отрасли, рассчитанные с помощью индекса Херфиндаля-Хиршмана, также указывают на рост концентрации отрасли, несмотря на сохранение её относительно умеренного уровня (табл. 2). Расчёт же индекса ННИ по финансовым результатам прибыльных предприятий фиксирует не только рост концентрации в целом, но и переход в категорию более высокой концентрации с 2016 года.

Анализ динамики индексов концентрации (CR и ННИ) с учётом внешнеэкономических и внутренних факторов позволяет следующим образом периодизировать укрупнение в отрасли:

1) 2014-2015 годы: на фоне ослабления рубля выручка рыбодобывающих компаний удвоилась (до 270 рублей), а прибыль увеличилась в шесть раз, достигнув 63 млрд рублей. При этом концентрация оставалась низкой, а рынок характеризовался высокой конкуренцией и отсутствием экспортных ограничений.

2) 2016 год: наблюдается резкий рост показателей концентрации.  $CR_3$  по прибыли увеличился до 47%, ННИ – до 1156,8, что свидетельствует об укреплении позиций крупных игроков и ускорении процессов консолидации.

3) 2018-2020 годы: активная реализация программы инвестиционных квот сопровождалась удорожанием основных фондов и ростом долговой нагрузки, на фоне благоприятной внешней конъюнктуры. Концентрация по всем ключевым показателям достигла максимальных значений.

4) 2022-2023 годы: санкционное давление и снижение экспортных цен ухудшили финансовые результаты предприятий, что привело к снижению доли холдингов в общем отраслевом объёме выручки и прибыли. Тем не менее, рост ННИ по стоимости активов свидетельствует о продолжающейся консолидации, несмотря на падение рентабельности.

## 2. Корреляционный анализ уровня концентрации рыбодобывающей отрасли и её финансовых показателей

Результаты корреляционного анализа выявили выраженную кластеризацию коэффициентов концентрации по обороту, прибыли и активам, а также кластеризацию индексов ННИ по обороту и прибыли, что обусловлено их схожей природой (рис. 2). С учётом схожести результатов корреляционного анализа коэффициентов концентрации для топ-3, топ-5 и топ-10 компаний в дальнейшем описание будет проводиться только для топ-3 компаний.

Индекс концентрации Херфиндаля-Хиршмана по обороту и прибыли демонстрирует высокую положительную корреляцию с сальдированным финансовым результатом (0,73 и 0,82 соответственно) и нормой чистой прибыли (0,56 и 0,90). Аналогичные паттерны наблюдаются для коэффициента концентрации по прибыли топ-3 холдингов ( $CR3_{прибыль}$  – 0,75). Статистическая связь между этими показателями указывает на то, что более концентрированные рынки ассоциируются с улучшенными финансовыми показателями эффективности. Крупные компании посредством эффекта масштаба могут более эффективно использо-

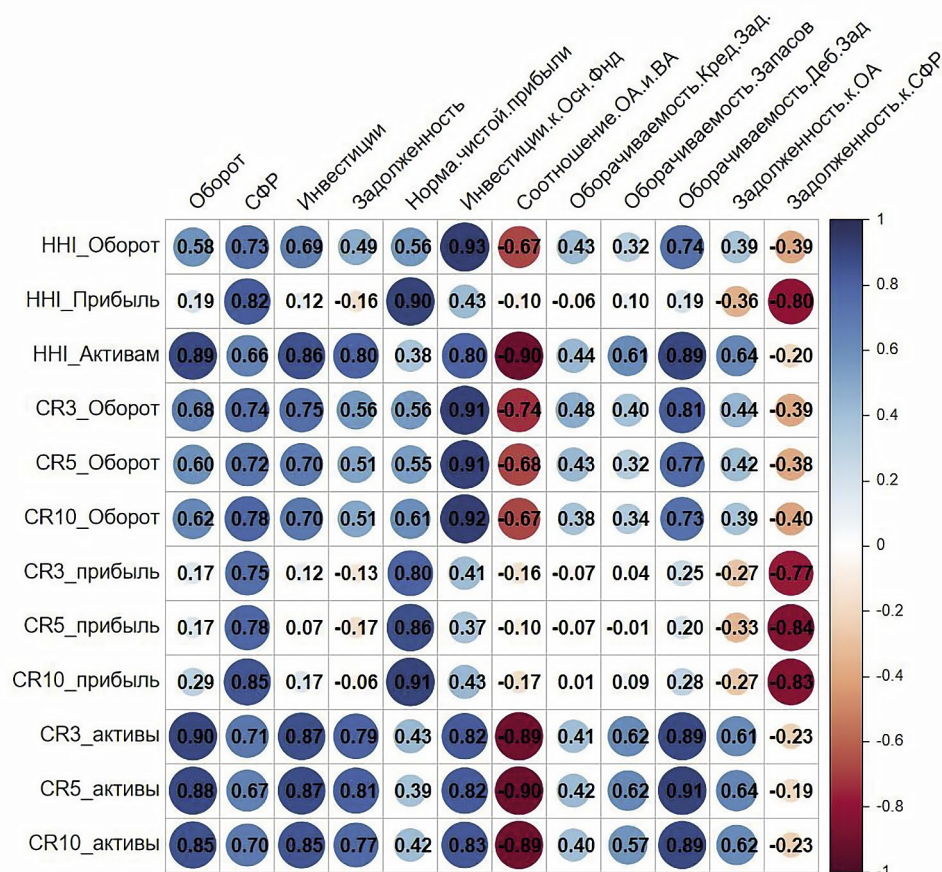


Рис. 2. Корреляционная матрица коэффициентов концентрации и финансовых показателей рыбодобывающей отрасли<sup>6</sup>  
 Fig. 2. Correlation matrix of concentration ratios and financial indicators in the fishing industry<sup>6</sup>

вать ресурсы и снижать издержки, что приводит к повышению финансовой эффективности.

Кроме того, выявлена значительная отрицательная корреляция между показателями концентрации прибыли и соотношением задолженности к сальдированному финансовому результату (-0,80 для ННН\_прибыль и -0,77 для CR<sub>3</sub>\_прибыль). Эти результаты могут свидетельствовать о снижении зависимости от заёмного капитала относительно сальдированного финансового результата по мере увеличения концентрации прибыли. Такая связь может указывать на то, что крупные холдинги, генерирующие значительные доли отраслевой прибыли, способны более эффективно управлять своими финансовыми ресурсами и концентрировать достаточные объёмы внутренних средств, что способствует их финансовой устойчивости.

Индекс Херфиндаля-Хиршмана и коэффициент концентрации (CR<sub>3\_акт</sub>) по активам демонстрируют высокую положительную корреляцию с оборотом (0,89 и 0,90 соответственно), объёмом инвестиций в основной капитал (0,86 и 0,87), задолженностью по креди-

там и займам (0,80 и 0,79), соотношением инвестиций в основной капитал к стоимости основных фондов (0,80 и 0,82) и оборачиваемостью дебиторской задолженности (0,89). Высокая статистическая связь между индексами концентрации по активам и оборотом указывает на то, что крупные предприятия, обладающие высокой долей активов отрасли, контролируют значительную часть рынка, что отражается в их оборотах.

Кроме того, входящие в состав крупных холдингов компании, имеют возможность активнее инвестировать в модернизацию производственных мощностей, что объясняется их большими возможностями привлечения капитала и более лёгким доступом к заёмным средствам.

Высокий уровень корреляции между концентрацией по активам и оборачиваемостью дебиторской задолженности (0,89) может свидетельствовать о том, что крупные рыбодобывающие холдинги, как правило, включают в себя не только предприятия рыбодобычи, но и структурные подразделения, обслуживающие весь производственный цикл – от переработ-

ки и консервирования рыбы, ракообразных и моллюсков до морской логистики, судостроения и судоремонта. Это может приводить к более сложным финансовым отношениям внутри холдингов, включая создание внутренней дебиторской задолженности между дочерними и аффилированными компаниями. В таких структурах, возможно, устанавливаются более гибкие условия оплаты, что может отражаться на длительности сроков оборачиваемости дебиторской задолженности.

Отрицательная корреляция между коэффициентами концентрации по активам и соотношением оборотных и внеоборотных активов ( $-0,90$  и  $-0,89$ ) указывает на обратную зависимость: в компаниях с высокой концентрацией активов значительная часть ресурсов сосредоточена во внеоборотных активах (например, здания, оборудование, инвестиции в основной капитал), а не в оборотных активах (например, запасы, дебиторская задолженность). Этот результат согласуется с предыдущими выводами, где наблюдалась высокая положительная корреляция между концентрацией активов и объёмом инвестиций в основной капитал. Высокая концентрация активов, как правило, характерна для крупных холдингов, активно инвестирующих в долгосрочные активы для укрепления своих позиций на рынке.

Тем не менее, важно отметить, что корреляционная матрица является инструментом для оценки линейных статистических связей между переменными и не может однозначно указывать на наличие причинно-следственной связи. В связи с этим полученные результаты требуют дальнейшей проверки и подтверждения с использованием других методов анализа.

### 3. Анализ описательной способности показателей для оценки финансового состояния отрасли «рыболовство, рыбоводство»

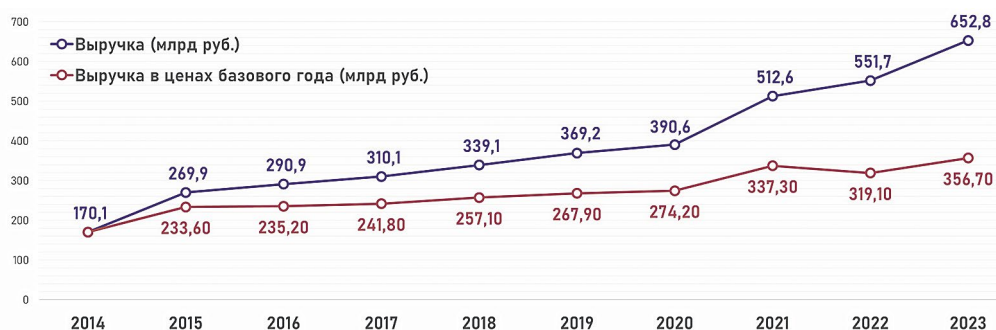
В рамках сравнительного анализа проанализирована описательная способность показателей финансовых результатов, инвестиционной активности и эффективности, оценка активов, задолженности по кредитам и займам, используемых Росстатом для оценки изменений в отрасли.

#### 3.1. Выручка

Анализ динамики выручки отрасли показывает её устойчивый рост с 170,1 млрд рублей в 2014 году до 652,8 млрд рублей в 2023 году, среднегодовой прирост – 14% (рис. 3). После дисконтирования к уровню цен 2014 года, показатель продемонстрировал устойчивый рост более чем в два раза до 357 млрд рублей. На динамике выручки не отразились последствия ослабления курса рубля в 2014-2015 годах (показатель вырос на 58%). Также при замедлении в 2021-2023 годах в ценах базового года, в 2023 году выручка продолжила расти в базовых и текущих ценах несмотря на существенное снижение стоимости экспорта.

#### 3.2. Сальдированный финансовый результат

Основным показателем, используемым для оценки прибыльности продаж, является сальдированный финансовый результат (далее – СФР), который формируется из прибыли (убытка) от продажи продукции, основных средств, иного имущества организаций и доходов от прочих операций, уменьшенных на сумму расходов по этим операциям<sup>7</sup>.



**Рис. 3.** Динамика выручки предприятий «рыболовство, рыбоводство» в текущих и базовых ценах в 2014-2023 годах (млрд рублей): 1 – выручка, 2 – выручка в ценах базового года

**Fig. 3.** Dynamics of revenue in the «Fishing and Aquaculture» sector in current and constant prices, 2014-2023 (billion rubles): 1 – revenue in current prices, 2 – revenue in constant prices

<sup>7</sup> Росстат. Методология расчёта финансовых показателей деятельности предприятий: [https://78.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/fin\\_met.pdf](https://78.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/fin_met.pdf). 21.04.2025.

Показатель СФР зафиксировал влияние внешне-экономических факторов на финансовые результаты в сфере «рыболовство, рыбоводство» во второй половине анализируемого периода (рис. 4). При негативном влиянии ослабления курса рубля в 2014 году, СФР устойчиво растёт до 2019 года с 11,2 млрд рублей до 134,1 млрд рублей. Затем отмечается значительная волатильность в 2020-2021 годах, связанная с последствиями принятых Россией и странами-партнёрами антиковидных мер в 2021 году и резким колебанием вылова тихоокеанских лососей, являющихся высокомаржинальным видом водных биоресурсов. В 2022-2023 годах негативные последствия санкций отразились на падении СФР практически в два раза. Вместе с тем, показатель не отреагировал на структурные изменения в отрасли, рост концентрации и интеграционные процессы в отрасли.

### 3.3. Инвестиции в основной капитал

Важный параметр, который характеризует финансово-экономические показатели отрасли, – это инвестиции. В целом, динамика инвестиций в основной капитал отражает реальный объём капитальных вливаний в связи с реализацией программы инвестиционных квот с 2017 года. Темпы роста инвестиций в основной капитал существенно увеличиваются в 2018-2020 годах: за этот период объём инвестиций в текущих ценах вырос более чем в два раза. В 2021-2023 годах темпы роста инвестиций несколько снизились, но сохранили устойчивую положительную динамику (рис. 5).

Показатель объёма инвестиций, в первую очередь, используется для оценки капитальных вливаний в отрасль для её дальнейшего развития, повышения эф-



Рис. 4. Динамика сальдированного финансового результата «рыболовства, рыбоводства» в текущих и базовых ценах в 2014-2023 годах (млрд рублей): 1 – СФР, 2 – СФР в ценах базового года

Fig. 4. Dynamics of the net financial result in the «Fishing and Aquaculture» sector in current and constant prices, 2014-2023 (billion rubles): 1- Net financial result, 2 – Net financial result in constant prices



Рис. 5. Динамика инвестиций в основной капитал предприятий «рыболовства, рыбоводства» в текущих и базовых ценах в 2014-2023 годах (млрд рублей): 1 – инвестиции в основной капитал, 2 – инвестиции в основной капитал в ценах базового года, 3 – ИФО инвестиций в основной капитал, 4 – темп прироста ИФО инвестиций с накоплением

Fig. 5. Dynamics of fixed capital investment in the «Fishing and Aquaculture» sector in current and constant prices, 2014-2023 (billion rubles): 1 – fixed capital investment, 2 – fixed capital investment in constant prices, 3 – volume index of fixed capital investment, 4 – cumulative growth rate of the fixed capital investment volume index

фективности производственных процессов, что в теории должно привести к увеличению рентабельности отрасли. Однако сам по себе показатель малоинформативен для полноценной оценки его влияния на деятельность предприятий отрасли (как минимум в краткосрочной перспективе). Этот показатель не позволяет оценить результативность инвестиций, а также не даёт представления об их непосредственных и конечных эффектах.

### 3.4. Задолженность по кредитам и займам

Деятельность предприятий в условиях негативно-го влияния внешних факторов создаёт сложности не только в реализации инвестиционных проектов, но также в обеспечении текущей деятельности за счёт собственной прибыли и запасов, поэтому долговая нагрузка является важнейшим показателем финансовых возможностей отрасли. В целом, показатель отразил изменения в отрасли, связанные с наращиванием инвестиций с 2018 года, поскольку в рамках программы инвестиционных квот большая часть инвестиций привлечена за счёт кредитных средств (рис. 6). Анализ абсолютных значений показал устойчивый рост объёма задолженности по кредитам и займам с 96,6 млрд рублей в 2014 году до 636 млрд рублей в 2023 году. Скачки в росте долгосрочной задолженности зафиксированы в 2018 году (+58%) и в 2023 году (+49%).

Динамика роста кредитной задолженности в последние годы может указывать на растущую потребность отрасли в финансах на фоне снижения прибыльности. Это заставляет критически отнестись к финансовой устойчивости отрасли в перспективе ближайших лет.

Графический анализ финансовых показателей отрасли показал, что для целей государственного управления влияние значимых внутренних и внешних эко-

номических шоков на отрасль практически не находит отражения в динамике абсолютных показателей. Так, выручка и инвестиции продолжают расти, в том числе в периоды кризиса. Сальдированный финансовый результат отразил влияние внешнеэкономических факторов на финансовые результаты «рыболовства, рыбоводства» во второй половине анализируемого периода и снизился практически в два раза. Объём кредитной задолженности также в целом отразил два переходных периода: скачки роста объёма кредитной задолженности наблюдаются в 2018 году с запуском программы инвестиционных квот и в 2023 году с двукратным снижением прибыли отрасли. Вместе с тем, анализируемые абсолютные показатели не отражают структурные изменения отрасли, рост её концентрации и происходящие в отрасли интеграционные процессы.

## 4. Оценка отражения структурных изменений рыбоводящей отрасли в финансовых показателях, используемых предприятиями для оценки своей деятельности

### 4.1. Норма чистой прибыли

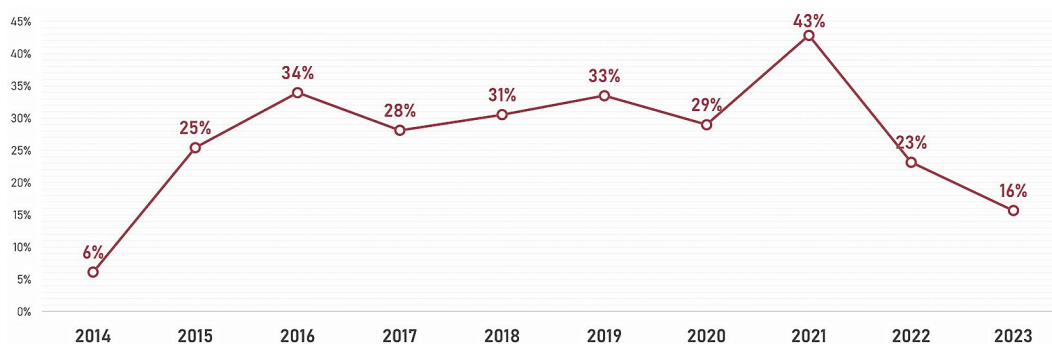
Нормы чистой прибыли – это показатель чистой прибыли организации на рубль выручки. Он относится к группе показателей рентабельности, при этом характеризует не только прибыльность основной деятельности организации, а эффективности деятельности в целом. Включая в себя все расходы компании, этот показатель наиболее тщательно изучается аналитиками и инвесторами поскольку является гораздо более точным показателем рентабельности.

Норма чистой прибыли демонстрирует схожий с СФР циклические паттерны (рис. 7). Так, в 2014-2016 годах наблюдается рост прибыли отрасли, неко-



**Рис. 6.** Динамика задолженности по кредитам и займам предприятий «рыболовства, рыбоводства» в текущих и базовых ценах в 2014-2023 годах (млрд рублей): 1 – задолженность по полученным кредитам и займам, 2 – задолженность по полученным кредитам и займам в ценах базового года

**Fig. 6.** Dynamics of loans and borrowings in the «Fishing and Aquaculture» sector in current and constant prices, 2014-2023 (billion rubles): 1 – nominal debt, 2 – real debt



**Рис. 7.** Динамика нормы чистой прибыли (процент) по виду деятельности «рыболовство, рыбоводство»

**Fig. 7.** Dynamics of net profit margin (%) in the «Fishing and Aquaculture» sector

торая стабилизация до 2019 года и снижение после 2021 года. Вместе с тем, хотя оба показателя снижаются с 2021 года, темпы снижения СФР ниже по сравнению с темпами снижения нормы чистой прибыли. С 2021 по 2023 годы СФР снизился на 46% (с 190,4 до 102,2), тогда как норма чистой прибыли упала на 63% (с 0,428 до 0,157). Это может указывать на то, что норма прибыли была более чувствительна к изменениям в отрасли (снижению экспортных цен, увеличению себестоимости и росту кредитной нагрузки).

#### 4.2. Соотношение ежегодного объёма инвестиций и стоимости основного фонда

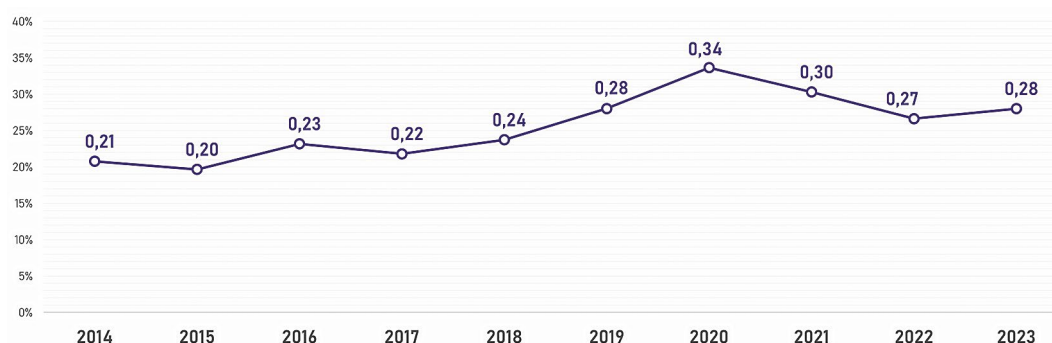
В дополнение к анализу абсолютных значений роста объёма инвестиций предприятия также анализируют соотношение инвестиций в основной капитал к стоимости основных фондов. Этот показатель позволяет проанализировать интенсивность обновления и расширения материально-технической базы, а также оценить, насколько эффективны инвестиции и оправданы их вложения.

Анализ динамики инвестиций в основной капитал и стоимость основных фондов показал, что пред-

приятия «рыболовства, рыбоводства» начали более агрессивную инвестиционную стратегию с 2017 года (рис. 8). По мере увеличения инвестиций (20 млрд рублей в 2016 году до 110,2 млрд рублей в 2023 году) стоимость основных фондов также заметно возрастает (86,7 до 394 млрд рублей).

Вместе с тем, абсолютный показатель инвестиций в основной капитал не позволяет увидеть снижение эффективности инвестиций. Соотношение инвестиций в основной капитал к стоимости основных фондов постепенно росло до 0,34 в 2020 году и после двухлетнего снижения стабилизировалось на уровне 0,27-0,30 к 2023 году, несмотря на сохраняющийся рост инвестиций. Следовательно, данный относительный показатель позволил выявить снижение отдачи от инвестиций в основные фонды, поскольку основные фонды росли медленнее, чем объём «вливаний» в них. Устойчивый рост этого показателя и его высокий уровень может быть предупреждающим сигналом о возможных чрезмерных инвестициях.

Об этом также свидетельствует снижение нормы чистой прибыли при увеличении объёмов инвестиций и основных фондов. По мере увеличения инвестиций



**Рис. 8.** Динамика соотношения инвестиций в основной капитал к стоимости основных фондов по виду деятельности «рыболовство, рыбоводство»

**Fig. 8.** Dynamics of the ratio of fixed capital investment to the value of fixed assets in the «Fishing and Aquaculture» sector

с 2012 до 2019 годы наблюдается заметное увеличение нормы чистой прибыли до 0,339, что указывает на повышение эффективности инвестиций в основной капитал. Однако в годы ускорения темпов роста инвестиций в основной капитал – в 2017 и 2023 годах – норма чистой прибыли снижается. Существует вероятность дальнейшего снижения отдачи от инвестиций в краткосрочном периоде при наращивании их объёма.

### 4.3. Оценка активов отрасли

Другой параметр, оцениваемый аналитиками предприятий и инвесторами, – это оборотные активы, которые могут быть конвертированы в денежные средства в течение одного года в рамках операционных деятельности и окупаемости инвестиций. К оборотным активам относятся денежные средства, их эквиваленты, дебиторская задолженность, складские запасы, рыночные ценные бумаги, обязательства будущих периодов и прочие ликвидные активы.

В течение наблюдаемого периода объём оборотных активов устойчиво рос с 173,7 млрд рублей в 2014 года до 771,2 млрд рублей, среднегодовой прирост составил 18% (рис. 9). Вместе с тем, оценка соотношения оборотных и внеоборотных активов показала растущую фондоёмкость рыбодобывающей отрасли и сокращение относительного уровня оборотных активов, способных принести деньги в короткое время.

Коэффициент соотношения оборотных и внеоборотных активов постепенно снижается с 2,22 в 2016 году до 1,03 в 2023 году, что на фоне высокой закредитованности отрасли указывает на ослаблении ликвидной позиции отрасли. Увеличение доли внеоборотных активов в совокупности с ростом инвестиций в основной капитал свидетельствует о том, что предприятия отрасли делают ставку на долгосрочные инвестиции. Однако, несмотря на потенциальные дол-

госрочные выгоды, такая стратегия в кризисные периоды вызывает опасения относительно ликвидности предприятий и их способности покрыть обязательства в краткосрочном периоде.

Для того, чтобы оценить эффективность управления оборотными активами предприятия также часто используют не только общую сумму оборотного капитала и их соотношение, но и некоторые показатели, оценивающие объём капитала, замороженный на каждом этапе бизнес-цикла, в том числе [Герасименко, 2021]:

- оборачиваемость кредиторской задолженности: среднее количество дней, через которые предприниматель оплачивает свои счета;
- оборачиваемость запасов: среднее количество дней, в течение которых товар остаётся на складе;
- оборачиваемость дебиторской задолженности: среднее количество дней, через которое предпринимателю платят его клиенты.

Оборачиваемость дебиторской задолженности увеличилась более, чем в два раза – в среднем с 76 дней в 2014 году до 171 дней в 2023 году (рис. 10). Увеличилось количество дней, в течение которых предприятия рыбодобывающей отрасли оплачивают свои счета: оборачиваемость кредиторской задолженности выросла с 95 дней в 2017 году до 162 дней в 2023 году. Среднее количество дней, в течение которых товар находится на складе в течение всего периода в целом колеблется в диапазоне 105-119 дней, с разовым снижением в 2015 году.

Межотраслевое расширение холдингов с 2014 года способствовало усложнению финансовых потоков и задержкам в поступлении платежей от клиентов. Рыбодобывающие предприятия, входя в один холдинг, могли предоставить обслуживающим и перерабатывающим компаниям холдинга рыбопродукцию на условиях постоплаты, что привело к значительному увеличению оборачиваемости дебиторской задолженности.

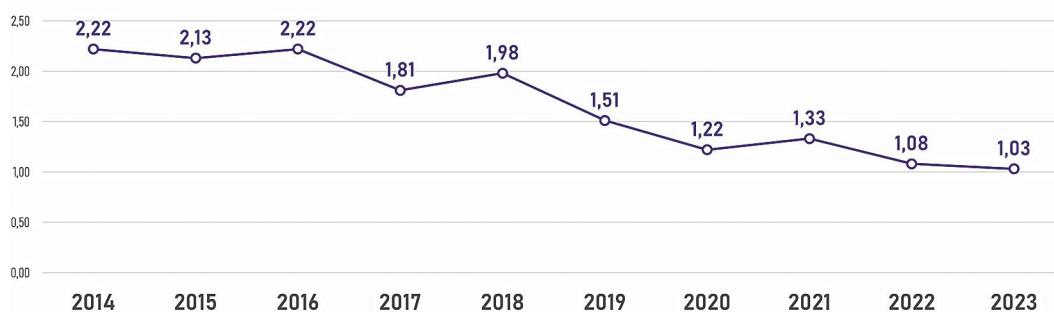
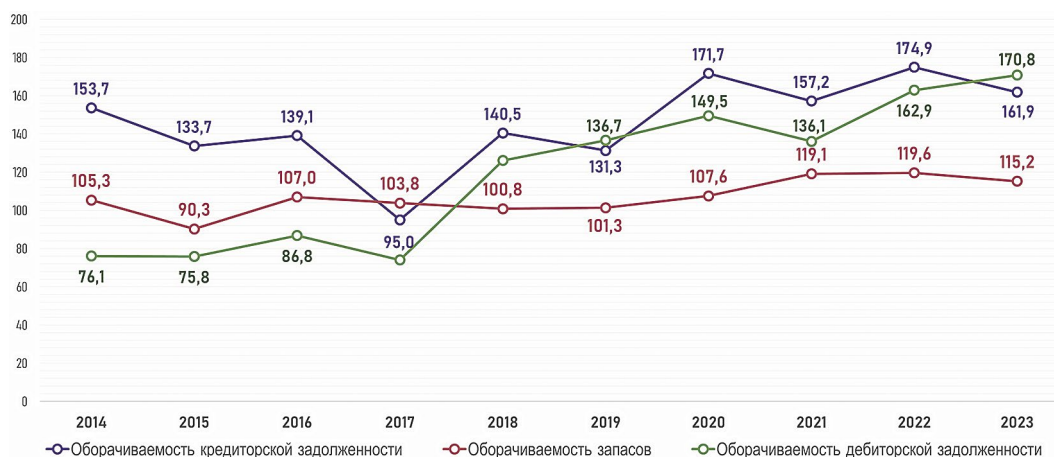


Рис. 9. Коэффициент соотношение оборотных и внеоборотных активов предприятий «рыболовства, рыбоводства»  
Fig. 9. Ratio of current to non-current assets in the «Fishing and Aquaculture» sector



**Рис. 10.** Динамика коэффициентов оборачиваемости кредиторской задолженности, запасов и дебиторской задолженности предприятий «рыболовства, рыбоводства», дней: 1 – оборачиваемость кредиторской задолженности, 2 – оборачиваемость запасов, 3 – оборачиваемость дебиторской задолженности

**Fig. 10.** Dynamics of turnover ratios for accounts payable, inventories, and accounts receivable in the «Fishing and Aquaculture» sector (days): 1 – payables turnover, 2 – inventory turnover, 3 – receivable turnover

#### 4.4. Оценка долгосрочной задолженности по кредитам и займам отрасли

Абсолютные значения задолженности предприятий «рыболовства, рыбоводства» по кредитам и займам показали стабильный рост в течение наблюдаемого периода. Вместе с тем, показатели, используемые предприятиями, иллюстрируют, что рост заёмных средств по-разному отражается на условиях деятельности предприятий отрасли. Так, наибольшая зависимость от заёмных средств была в 2014 году в период валютного кризиса. После чего до 2016 года несмотря на рост абсолютных значений доля кредитных средств снижалась (рис. 11).

Реализация программы инвестиционных квот обусловила рост потребности отрасли в кредитах. Так доля объёма задолженности в оборотных активах выросла с 37 до 82% в 2020 году, а в СФР вырос с 1,13 до 2,4 в 2020 году. В 2022-2023 годах совокупность негативных экономических факторов обусловили существенный рост влияния заёмных средств на финансовую устойчивость. С учётом снижения рентабельности «рыболовства, рыбоводства» в 2023 году задолженность по кредитам и займам в 6 раз превышала уровень прибыли и составила практически 100% от стоимости оборотных активов.

Таким образом, эти коэффициенты показали реальную роль кредитных средств в итоговой эффек-



**Рис. 11.** Динамика объёма задолженности по кредитам и займам предприятий «рыболовства, рыбоводства», коэффициент: 1 – кредитная задолженность к СФР, 2 – кредитная задолженность к стоимости оборотных активов

**Fig. 11.** Dynamics of the volume of loans and borrowings in the «Fishing and Aquaculture» sector, ratio: 1 – Debt/ Net financial result, 2 – Debt/Current assets

тивности деятельности предприятий отрасли. Вместе с тем, нет наблюдений, доказывающих влияние роста концентрации отрасли и её вертикальной интеграции на изменение потребности в кредитных средствах.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В 2014-2023 гг. в рыбодобывающей отрасли России зафиксирован рост концентрации: доля выручки 20 крупнейших холдингов увеличилась с 50 до 71%, что подтверждается значениями коэффициентов концентрации. Расширение охватило смежные звенья цепочки, отражая углубление вертикальной интеграции.

Корреляционный анализ выявил положительную связь между концентрацией и финансовыми показателями в 2014-2023 гг., однако финансовая устойчивость отрасли не подтверждена однозначно. Снижение прибыли в 2022-2023 гг. ( $CR_3$  по прибыли сократился с 49 до 27%) указывает на уязвимость крупных структур к внешним экономическим воздействиям.

Увеличение инвестиций в отрасль сопровождается снижением их эффективности в последние годы, выраженным в уменьшении соотношения инвестиций к стоимости основных фондов, что свидетельствует об ограничении масштабов роста и снижении предельной отдачи капитала. Относительные финансовые показатели (рентабельность, оборачиваемость) демонстрируют повышенную чувствительность к структурным изменениям и внешним шокам, подчеркивая их приоритетную роль в оценке устойчивости и качества развития холдингов.

### Благодарности

Автор благодарит эксперта аналитической группы НО «ВАРПЭ» Кизабекову А. за помощь в проведении расчётов коэффициентов концентрации и корреляции.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

### Финансирование

Работа выполнена в порядке личной инициативы.

### ЛИТЕРАТУРА

Агунович Ю.А., Шуликов А.О. 2020. Государственная политика в сфере рыболовства: этапы эволюции, проблемы реализации, перспективные направления развития // Нац. (всеросс.) XI науч.-практ. конф. «Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование». Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ. С. 188-193.

Герасименко А. 2021. Финансовая отчётность для руководителей и начинающих специалистов (9-е изд.). М.: Альпина Паблишер. 432 с.

Зверев Г.С. 2023. Типологическое сходство экономических преобразований в рыбной отрасли: СССР в 1980-х – 1991 гг. и Россия 2017-2022 гг. // Научные труды Дальрыбвтуза. Т. 64, № 2. С. 83-89. DOI: 10.48612/dalrybvtuz/2023-64-08.

Зверев Г.С., Гончарова Н.А., Кизабекова А.О. 2023. Обзор мер государственной поддержки сектора рыбодобычи в отдельных странах Азиатско-Тихоокеанского региона // Научные труды Дальрыбвтуза. Т. 64, № 2. С. 112-131. DOI: 10.48612/dalrybvtuz/2023-64-11.

Кабраль Л.М.Б. 2003. Организация отраслевых рынков. Минск: Новое знание. 356 с. (Cabral, Luis M.B. 2000. Introduction to industrial organization. Massachusetts: MIT Press.)

Коцопана Т.В., Стажкова П.С. 2011. Сравнительный анализ применения показателей концентрации на примере банковского сектора РФ // Вестник СПбГУ. Экономика. № 4. С. 30-40.

Любященко С.Н., Мамонов В.И. 2013. Рыночная концентрация в условиях группирования предприятий и экономическая эффективность // Вестник НГУЭУ. № 3. С. 92-106.

Узун В.Я., Шагайда Н.И., Гатаулина Е.А., Шишкина Е.А. 2022. Холдингизация агробизнеса России. М.: Дело. 208 с.

Шиткина И.С. 2008. Холдинги: Правовое регулирование экономической зависимости. Управление в группах компаний. М.: Волтерс Клувер. 552 с.

Almeida H., Kim C.S., Kim H.B. 2015. Internal capital markets in business groups: Evidence from the Asian financial crisis // The Journal of Finance. V. 70. № 6. P. 2539-2586. DOI: 10.1111/jofi.12309.

Bain, J. S. 1956. Barriers to new competition: their character and consequences in manufacturing industries. Harvard University Press. 329 p.

Khanna T., Yafeh Y. 2007. Business groups in emerging markets: paragons or parasites? // Journal of Economic literature. V. 45. № 2. P. 331-372. DOI: 10.1257/jel.45.2.331

Kvålseth T.O. 2018. Relationship between concentration ratio and Herfindahl-Hirschman index: A re-examination based on majorization theory // Heliyon. V. 4. № 10. DOI: 10.1016/j.heliyon.2018.e00846

Pavic I., Galetic F., Piplica D. 2016. Similarities and differences between the CR and HHI as an indicator of market concentration and market power // British Journal of Economics, Management & Trade. V. 13. № 1. P. 1-8. DOI:10.9734/BJEMT/2016/23193.

Porter M.E. 1980. Competitive Strategy: Techniques for analyzing industries and competitors. N-Y: Free Press. 396 p.

### REFERENCES

Agunovich Yu.A., Shulikov A.O. 2020. State policy in the field of fisheries: Stages of evolution, implementation challenges, and prospective development directions // Nat. (All-Russ.) Scient. and Pract. Conf. «Natural Resources, Their

- Current State, Conservation, Commercial, and Technical Use». Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatSTU. P. 188-193. (In Russ.).
- Gerasimenko A.* 2021. Financial reporting for managers and beginners (9th ed.). Moscow: Alpina Publisher. 432 p. (In Russ.).
- Zverev G.S.* 2023. Typological similarities of economic transformation in the fishing industry: USSR in the 1980s – 1991 and Russia in 2017-2022 // *Nauchnye Trudy Dalrybvtuza*. V. 64. № 2. P. 83-89. DOI: 10.48612/dalrybvtuz/2023-64-08. (In Russ.).
- Zverev G.S., Goncharova N.A., Kizabekova A.O.* 2023. Review of State Support Measures for the Fisheries Sector in Selected Countries of the Asia-Pacific Region // *Nauchnye Trudy Dalrybvtuza*. V. 64. № 2. P. 112-131. DOI: 10.48612/dalrybvtuz/2023-64-11. (In Russ.).
- Cabral L.M.B.* 2003. Introduction to industrial organization. Minsk: Novoe Znanie. 356 c. (*Cabral Luis M.B.* 2000. Introduction to industrial organization. Massachusetts: MIT Press.). (In Russ.).
- Kotsofana T.V., Stazhkova P.S.* 2011. Comparative analysis of concentration indicators using the example of the Russian banking sector // *Vestnik SPbSU. Economics*. № 4. P. 30-40. (In Russ.).
- Lyubyashchenko S.N., Mamonov V.I.* 2013. Market concentration under enterprise grouping conditions and economic efficiency // *Vestnik of Novosibirsk SU Economics and Management*. № 3. P. 92-106. (In Russ.).
- Uzun V.Ya., Shagaida N.I., Gataulina E.A., Shishkina E.A.* 2022. Consolidation of Russian agribusiness. Moscow: Delo. 208 p. (In Russ.).
- Shitkina, I.S.* 2008. Holdings: Legal Regulation of Economic Dependence. Management in Corporate Groups. Moscow: Wolters Kluwer. 552 p. (In Russ.).
- Almeida H., Kim C.S., Kim H.B.* 2015. Internal capital markets in business groups: Evidence from the Asian financial crisis // *The Journal of Finance*. V. 70. № 6. P. 2539-2586. DOI: 10.1111/jofi.12309.
- Bain, J. S.* 1956. Barriers to new competition: their character and consequences in manufacturing industries. Harvard University Press. 329 p.
- Khanna T., Yafeh Y.* 2007. Business groups in emerging markets: paragons or parasites? // *Journal of Economic literature*. V. 45. № 2. P. 331-372. DOI: 10.1257/jel.45.2.331
- Kvålseth T.O.* 2018. Relationship between concentration ratio and Herfindahl-Hirschman index: A re-examination based on majorization theory // *Heliyon*. V. 4. № 10. DOI: 10.1016/j.heliyon.2018.e00846
- Pavic I., Galetic F., Piplica D.* 2016. Similarities and differences between the CR and HHI as an indicator of market concentration and market power // *British Journal of Economics, Management & Trade*. V. 13. № 1. P. 1-8. DOI:10.9734/BJEMT/2016/23193
- Porter M.E.* 1980. Competitive Strategy: Techniques for analyzing industries and competitors. N-Y: Free Press. 396 p.

Поступила в редакцию 30.04.2025 г.  
Принята после рецензии 04.06.2025 г.



УДК 338.57

**Экономика, международное сотрудничество и нормативные правовые основы  
рыбохозяйственной деятельности**

## **Моделирование уровня потребления рыбы и рыбопродуктов в Российской Федерации**

А.Г. Мнацаканян, А.Г. Харин

Калининградский государственный технический университет (ФГБОУ ВО «КГТУ»), Советский пр-т, д.1, г. Калининград, 236022

E-mail: mag@kigtu.ru

SPIN-код: А.Г. Мнацаканян – 8344-7404, А.Г. Харин – 1405-0290

**Целью работы** является разработка модели, описывающей зависимость уровня потребления рыбопродуктов в РФ от ключевых факторов. Для этого рассматриваются основные теоретические наработки в области количественного изучения спроса на рыбу и рыбопродукты, предлагается и оценивается авторский подход к решению проблемы повышения достоверности описания спроса на данные товары. **Используется метод** эконометрического моделирования, основанный на классических метриках запаздывающего изменения и адаптации потребительского спроса (Houthakker-Taylor, Nerlove). **Новизна** представленного решения состоит в способе учёта ключевых факторов, влияющих на потребление рыбопродуктов в РФ, а также во включении в состав модели динамических переменных. **Результат:** предложенная модель позволяет с высокой достоверностью оценивать и прогнозировать ключевую характеристику спроса на рыбопродукты – уровень их среднелюдянского потребления. Тестирование модели показало приемлемое качество статистической значимости и объяснённой дисперсии, что даёт основания говорить о её адекватности. **Практическая значимость:** представленное решение может использоваться в качестве элемента экономического обоснования мероприятий в области регулирования отечественного рынка рыбной продукции.

**Ключевые слова:** Рынок, рыбопродукты, спрос, потребление, факторы, модель.

### **Model of fish and fish product consumption in the Russian federation**

Albert G. Mnatsakanyan, Alexander G. Kharin

Kaliningrad State Technical University («KSTU»), 1, Sovetsky Prospekt, Kaliningrad, 236022, Russia

**The purpose** of the paper is to develop a model that describes the dependence of fishery consumption in the Russian Federation on key factors. We explore theoretical methods for studying demand for fish and fishery products and offer an original approach to solving the problem of increasing the reliability of demand description. We **use** the econometric modeling **method**, which is based on classical metrics of lagging change and adaptation of consumer demand (Houthakker-Taylor, Nerlove). **The novelty** of our approach lies in taking into account the key factors influencing the consumption of fishery products in the Russian Federation, as well as in the inclusion of dynamic variables in the model. **The model** allows more reliably than alternative solutions to describe the key characteristic of demand for fishery products – the level of per capita consumption. Testing the model showed a high level of statistical significance and explained variance, which gives grounds to talk about its adequacy. The **practical significance** of the proposed solution is to improve the scientific support for decisions on regulating the domestic fishery market.

**Keywords:** Market, fishery products, demand, consumption, factors, model.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Успешность решения проблемы обеспечения населения ключевыми видами продовольствия во многом зависит от полноты и достоверности знаний о специфике функционирования рынков этих товаров. Однако имеется ряд рынков, закономерности которых в нашей стране остаются малоизученными. К их числу относится российский рынок рыбной продукции. Хотя, согласно Доктрине продовольственной безопасности РФ, рыба и рыбопродукты в нашей стране входят в перечень базовых видов продовольствия, по-преж-

нему отсутствует ясность по ряду аспектов формирования спроса на эти товары. Работы отечественных авторов по данной тематике крайне редки, а имеющиеся немногочисленные публикации, как правило, ограничиваются рассмотрением довольно узкого круга вопросов. Следствием сложившейся ситуации является малая пригодность предлагаемых методических разработок для решения практических задач управления рынком рыбопродуктов.

Одним из важнейших индикаторов спроса на продукты питания, не только наиболее ёмко отражающим его состояние, но и имеющим самостоятельное

значение в качестве характеристики экономической доступности продовольствия,<sup>1</sup> является уровень потребления. Слабая изученность рынка рыбопродуктов и неразвитость методического обеспечения, используемого для его анализа, препятствуют достижению заданного нормативными документами уровня потребления – важной политической задачи, решение которой ведет к укреплению продовольственной безопасности и росту общественного благосостояния. Указанные обстоятельства определяют актуальность работ по совершенствованию инструментария, используемого для анализа и прогнозирования параметров спроса на рыбопродукты в РФ.

Целью данной статьи является разработка эконометрической модели, способной с высокой достоверностью описывать зависимость уровня потребления рыбопродуктов в РФ от ключевых факторов. Статья организована следующим образом. Сначала кратко излагаются существующие теоретические подходы к количественному описанию спроса на рыбу и рыбопродукты и предлагается авторский взгляд на решение проблемы повышения точности моделирования. Далее приводятся характеристики объекта исследования и основные результаты применения предложенной модели. Заключительная часть содержит некоторые замечания, расширяющие представление об использованном подходе, и перечисляются возможные направления применения полученных с его помощью результатов.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Обычно исследования рынков рыбопродуктов со стороны спроса сфокусированы на изучении непосредственных факторов, отражающих различные аспекты физической и экономической доступности товаров, удобство их потребления, а также пищевые предпочтения индивидов, такие как, традиции, знания, опыт, привычки питания и т. п. [Carlucciet al., 2015]. Эти, по сути, разнородные факторы, тесно связанные с атрибутами продукта [Фоломеева, 2012] и представляющие собой основные установки поведения потребителей, часто обозначают общим термином «потребительские убеждения» [Olsen, 2004]. Процесс их формирования, взаимодействия и влияния на спрос имеет запутанную природу, динамичен, в том числе, может сопровождаться сложными эффектами автокорреляции<sup>2</sup>.

Главная трудность в описании данного процесса связана с тем, что если физическая и экономическая доступность являются вполне понятными и измеримыми параметрами, то компонента потребительских убеждений, обусловленная личным предпочтением

рыбопродуктов, трудно формализуема и до сих пор не получила однозначного подтверждения о существовании причинно-следственной связи с величиной потребления. Тем не менее, многие исследования указывают на то, что потребление рыбы сильно зависит от привычек людей, которые обусловлены прошлым опытом [Scholderer, Trondsen, 2008], а позитивное отношение к рыбопродуктам (и потенциальный спрос) связано не только с большей осведомленностью о них, но и с регулярностью потребления рыбы [Thorsdottir et al., 2012; Birch et al., 2014; Yousuf et al., 2018]. В качестве детерминанта покупательских предпочтений в отношении рыбопродуктов также рассматривается культура и традиции питания. Статистикой ФАО фиксируются большие различия в индивидуальном потреблении рыбы, характерные не только для макрорегионов, но и для соседних стран. В частности, в пределах относительно небольшой территории Евросоюза имеется значительное разнообразие культур потребления рыбы, обуславливающее большую неоднородность спроса на этот товар (Welch et al., 2002). Заметные регионально-этнические различия в моделях питания также существуют и на субнациональном уровне [Thara et al., 2015], в том числе, между регионами РФ [Мнацаканян, Харин, 2025].

Классическим научным подходом в большинстве исследований спроса на продукты питания, в том числе, на рыбопродукты является использование положений микроэкономической теории, согласно которым индивид, осуществляющий выбор товаров стремится к тому, чтобы наиболее полно удовлетворить свои потребности в условиях ограниченных располагаемых ресурсов. Математически данная аксиома выражается как максимизация функции полезности для потребителя:

$$U = U(q_1, q_2, \dots, q_n, W), \quad (1)$$

с учётом бюджетных ограничений:

$$p_1q_1 + p_2q_2 + \dots + p_nq_n \leq Y, \quad (2)$$

где  $q_1, q_2, \dots, q_n$  – количество товаров в потребительском наборе;  $p_1, p_2, \dots, p_n$  – цены на эти товары;  $Y$  – доход потребителя;  $W$  – товары и блага, не входящие в потребительский набор.

Решение этой задачи для  $i$ -го товара, входящего в набор из  $n$  товаров, даёт частное уравнение потребительского спроса:

$$Q = F_i(Y_{it}, P_{it}, E_{it}), \quad i = 1, \dots, N, \quad (3)$$

где  $Q_{it}$  – количество потребления  $i$ -го товара на душу населения;  $Y_{it}$  – доход на душу населения;  $P_{it}$  – цена  $i$ -го товара;  $E_{it}$  – экзогенные переменные, отражающие

щие влияние на спрос прочих факторов;  $t$  – период времени ( $t=1, \dots, T$ ).

Однако в случае рыбопродуктов классическое уравнение (3) не всегда верно отражает реальное потребление этого товара. Причиной неполноты решения (3) является отличие ряда параметров спроса на рыбопродукты от спроса на продовольственные товары в целом. Специфика, в частности, выражается в относительно низкой лояльности потребителей из-за сильной зависимости качества рыбы и изделий из неё от условий и сроков производства, доставки и хранения, а также в инерционности спроса, обусловленной традициями и культурой питания. Причём влияние указанных факторов носит пролонгированный характер, в силу чего текущий уровень потребления рыбы может зависеть от её потребления в прошлом [Kusumastanto, Jolly, 1997].

Для того чтобы улучшить описательные свойства модели спроса в её состав вводятся переменные, способные отражать запаздывающий характер изменения спроса, а также его адаптацию (приспособление) к условиям статического равновесия. В рамках данного подхода существует ряд теоретических разработок. В частности, одна из них – использование системы уравнений, выражающих функцию спроса через экзогенные переменные дохода, цены, а также обобщённый параметр, измеряющий влияние прочих, в том числе, неявных факторов [Houthakker, Taylor, 1970]. Имеются доказательства, что такая модель более реалистично чем классическая версия учитывает основные факторы, определяющие спрос на большинство потребительских товаров, в том числе, на рыбопродукты. Это во многом достигается за счёт включения в модель динамической переменной состояния, помимо прочего, способной отражать влияние на текущий спрос прошлого потребления [Kusumastanto, Jolly, 1997].

Развитием данного подхода является учёт способности экономических агентов частично адаптироваться (подстраиваться) к параметрам спроса, определяемым условиями статического равновесия [Nerlove, 1958]. Полученная таким образом модель распределённого запаздывания спроса отражает не только долго-, но и краткосрочную предельную склонность к потреблению, что улучшает качество анализа в условиях быстроменяющихся рынков, к числу которых относится рынок рыбопродуктов.

Перечисленные теоретические разработки служат общеметодическим основанием нашего подхода к описанию и учёту факторов, влияющих на потребление рыбопродуктов в РФ. Вместе с тем, существенным, на наш взгляд, недостатком упомянутых выше моде-

лей в случае применения универсальных метрик статистического анализа является нарушение одного из их базовых условий – независимости объясняющих переменных, входящих в состав этих моделей. Так, поскольку номинальные цены на рыбопродукты тесно связаны с подушевым доходом (коэффициент корреляции между этими показателями в нашей стране в среднем за последние 12 лет был более 0,9), математическая модель регрессии, выражающая спрос на данный товар через оба указанных фактора, выглядит избыточной по количеству переменных. Чтобы, с одной стороны, устранить возможную мультиколлинеарность между объясняющими переменными, а с другой, не исключать из анализа важные драйверы, явно влияющие на потребление, мы предлагаем использовать прокси-переменную – показатель покупательной способности, объединяющий оба ключевых фактора спроса – и доход потребителя и цену на товар.

Помимо этого, для отражения специфики спроса на рыбопродукты и, одновременно, учёта его конъюнктурного и динамического характера, предлагается включить в состав модели синтетический показатель, отражающий реакцию потребителей на разницу между ценами на рыбопродукты и на другие продукты питания. Данное предложение опирается на известный факт, что потребление рыбопродуктов более чувствительно к изменению цен по сравнению с другими продуктами, входящими в продовольственную корзину [Мнацаканян и др., 2021]. Удобным для моделирования показателем, помимо прочего характеризующим временной аспект указанного различия, может выступать спред (разница) индексов цен на рыбопродукты и продовольственные товары в целом.

Ещё одним немаловажным фактором, оказывающим влияние на выбор потребителей, в условиях нашей страны является логистика рыбных грузов, во многом определяющая доступность, ассортимент и качество рыбопродуктов. Экономической метрикой, также учитывающей временной аспект этого многомерного фактора может выступать показатель индекса цен на грузоперевозки. В числе других переменных спроса также могут рассматриваться различного рода неэкономические факторы, влияющие на пищевые предпочтения потребителей рыбы. Предполагается, что включение в контур моделирования спроса двух переменных (спред индексов цен на товары и индекс цен на грузоперевозки) позволит отчасти учесть трудно формализуемую составляющую потребительских убеждений, обусловленную личным предпочтением рыбопродуктов.

С учётом предлагаемых поправок модифицированная эконометрическая модель, описывающая

взаимосвязи между уровнем потребления рыбопродуктов и его предикторами, выражается уравнением вида:

$$C_t = \alpha + \beta PP_t + \gamma SPI_t + \theta X_t + \varepsilon_t, \quad (4)$$

где  $C_t$  – потребление рыбы на душу населения в году  $t$ ;  $PP_t$  – покупательная способность среднестатистических денежных доходов населения в отношении рыбопродуктов в году  $t$ ;  $SPI_t$  – спред индексов цен на рыбопродукты и на продовольственные товары в году  $t$  по отношению к предыдущему году;  $X_t$  – набор прочих факторов, влияющих на потребление рыбы в году  $t$ , включая физические ограничения и (в случае широкой трактовки) социо-культурные установки потребителей рыбы;  $\beta$ ,  $\gamma$  и  $\theta$  – параметры;  $\varepsilon_t$  – ошибка моделирования.

Первая независимая переменная в уравнении (4) – покупательная способность доходов населения, согласно методике Росстата, отражает потенциальные возможности населения по приобретению товаров и услуг и выражается через товарный эквивалент среднемесячных денежных доходов населения.<sup>3</sup> Данный показатель довольно часто применяется в социально-экономических исследованиях [Гулюгина, 2023] и, в том числе, может быть полезен при изучении и прогнозировании спроса на рыбопродукты. Вместе с тем, показатель покупательной способности предназначен для оценки экономической доступности отдельных товаров и неприменим к их корзине, каковой является статистическая группа «Рыба и рыбопродукты», включающая довольно большой перечень товаров. Чтобы устранить данный недостаток из всей номенклатуры товаров, входящих в эту группу нами выбран товар с наименованием «Рыба мороженая неразделанная» – единственный представитель рыбной группы, входящий в состав всех статистических наборов Росстата начиная с 2003 г. Данный товар также является наиболее массовым отечественным рыбопродуктом (его доля в общем объёме потребления рыбопродуктов в 2021-2022 гг. превышала 50%), а покупательная способность по нему хорошо коррелирует с величиной среднестатистического потребления рыбопродуктов (коэффициент корреляции 0,87).

В качестве других, помимо показателя покупательной способности, независимых переменных в модели (4) предлагается использовать индексы потребительских цен на рыбопродукты и на продовольственные товары, а также индекс цен на грузопере-

возки. Первые две переменные, рассматриваемые совместно, призваны отражать эмпирически известный эффект относительно быстрого изменения доли рыбо- и морепродуктов в потребительской корзине в ответ на изменение цен на эти товары. Мерой данного эффекта служит величина разрыва (разницы) между темпами изменения цен на рыбопродукты и на продовольственные товары в целом. Как показано выше, из-за сравнительно высокой эластичности спроса на рыбопродукты по цене ценовой фактор оказывает существенное влияние на их потребление. Использование индексных переменных отражает влияние на потребление динамики цен и упрощает учет разного рода временных эффектов. В свою очередь, включение в число переменных индекса цен на грузоперевозки призвано учитывать влияние на потребление рыбопродуктов особенностей отечественной логистики рыбных грузов (большие расстояния между центрами добычи и потребления, неразвитость транспортно-складской инфраструктуры и т. п.). Кроме того, выбор в качестве компонентов модели относительных, а не абсолютных величин призван повысить её стабильность и, следовательно, улучшить достоверность и описательные свойства модели.

Предметом дальнейшего рассмотрения является проверка того, насколько предложенная теоретическая модель спроса на рыбопродукты в РФ может служить адекватным инструментом анализа и прогнозирования его параметров.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### 1. Исходные данные и спецификация модели

Модель, представленная уравнением (4), как мы полагаем, включает наиболее существенные факторы, определяющие параметры спроса на рыбопродукты в РФ. Источниками информации о значениях всех ключевых элементов, используемых в моделировании, выступают общедоступная база данных ЕМИСС и периодические публикации Росстата (статистические сборники «Российский статистический ежегодник», «Потребление продуктов питания»). Используемая для нахождения параметров модели выборка включает годовые значения показателей за период с 2011 по 2022 гг. Данные за более ранний период и за 2023-2024 гг. не рассматривались из-за их сильной волатильности и недостаточной верификации. Расчёт и оценка параметров модели выполнены в среде Microsoft Excel, с помощью сервисов и функций, входящих в состав этого программного продукта.

Для выявления наличия и определения тесноты связей между зависимой (уровень потребления рыбопродуктов, далее –  $Y$ ) и независимыми (покупа-

<sup>3</sup> Росстат. Методологические положения по расчёту показателей денежных доходов и расходов населения. <https://rosstat.gov.ru/folder/13397>.

тельная способность –  $X_1$ , разница индексов цен на рыбопродукты и на продукты питания –  $X_2$ , индекс тарифов на грузоперевозки –  $X_3$ ) переменными применён метод корреляционного анализа. Его результаты, полученные на основе исследуемой выборки данных приведены в табл. 1 и в комментариях к ней.

**Таблица 1.** Коэффициенты корреляции между уровнем потребления рыбопродуктов и основными факторами, влияющими на него

**Table 1.** Correlation coefficients between the level of consumption of fish products and the main influencing factors

	Y	$X_1$	$X_2$	$X_3$
Y	1			
$X_1$	0,87	1		
$X_2$	-0,55	-0,23	1	
$X_3$	-0,48	-0,21	0,19	1

Множественный корреляционный анализ, основанный на расчете парных линейных коэффициентов корреляции Пирсона, указывает на наличие тесной связи между среднедушевой величиной потребления рыбопродуктов и покупательной способностью по рыбе мороженой неразделанной (коэффициент равен 0,87). Имеется также заметная отрицательная связь между потреблением и другими объясняющими переменными – индексом относительного роста цен на рыбопродукты и индексом тарифов на грузоперевозки (–0,55 и –0,48, соответственно). В свою очередь, несмотря на предпринятые на этапе отбора факторов меры, существуют связи между всеми объясняющими переменными, хотя и незначительные по силе, однако потенциально способные вызывать эффект мультиколлинеарности и поэтому требующие дополнительной проверки (см. ниже).

Для количественного описания характера выявленных связей использована модель, математическим выражением которой служит уравнение множественной

линейной регрессии вида (4). Основные параметры и некоторые оценки этой модели, полученные на основе исследуемой выборки данных приведены в табл. 2.

С учётом приведённых в табл. 2 значений коэффициентов, основанное на эмпирических данных уравнение множественной регрессии, моделирующее зависимость уровня потребления рыбопродуктов в РФ от выбранных факторов, может быть записано как:

$$Y = 21,451 + 0,051 \cdot X_1 - 0,195 \cdot X_2 - 0,11 \cdot X_3; \quad (5)$$

(S) (4,88) (0,007) (0,058) (0,04);  
(t) (4,396) (7,62) (–3,358) (–2,733),

где Y – потребление рыбы на душу населения, кг/чел. в год;  $X_1$  – покупательная способность среднедушевых денежных доходов населения в отношении рыбы мороженой неразделанной, кг в месяц;  $X_2$  – спред индексов цен на рыбопродукты и продовольственные товары в целом, год к году, проценты;  $X_3$  – индекс цен на грузоперевозки, год к году, проценты.

## 2. Тестирование модели

Оценка модели (5) с помощью методов и инструментов регрессионного анализа дала следующие результаты: множественный коэффициент корреляции равен 0,97, коэффициент детерминации (R-квадрат) – 0,94. Таким образом, построенное уравнение регрессии описывает до 97% всех исследуемых связей и объясняет изменение результативного показателя на 94%, в то время как остальные 6% приходятся на долю неучтённых и случайных факторов. Высокое значение коэффициента детерминации и уровень значимости равный  $1,2 \cdot 10^{-4}$ , намного меньший 0,01 дают основания для положительной оценки качества модели. Дополнительная проверка, выполненная путём расчёта критического значения F-критерия и его сравнения с наблюдаемым значением  $F_{\text{факт}}$  при уровне значимости 0,01 и числе степеней свободы 3 и 7, показала, что  $F_{\text{факт}}$  равное 36,54 намного превышает

**Таблица 2.** Параметры и оценки модели, описывающей зависимость уровня потребления рыбопродуктов от основных факторов

**Table 2.** Parameters and estimates of the model describing the dependence of the level of consumption of fish products on the main factors

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-значение
Y-пересечение	21,45	4,88	4,396	0,003
$X_1$	0,051	0,007	7,62	1E-04
$X_2$	-0,195	0,058	-3,358	0,012
$X_3$	-0,11	0,04	-2,733	0,029

ет  $F_{кр}$ , равное 8,45, что подтверждает статистическую значимость модели.

Важным вопросом качества модели является её проверка на наличие автокорреляции случайных ошибок. Для тестирования гипотезы о равенстве коэффициента автокорреляции нулю используется критерий Дарбина-Уотсона [Durbin, Watson, 1950]. Применение метрики этого критерия дало величину коэффициента корреляции между остатками  $DW = 1,81$ . Данная величина находится внутри допустимого диапазона табличных значений (при уровне значимости 5%, трех объясняющих переменных и 11 наблюдениях критические значения  $d_L = 0,6$ ;  $d_U = 1,93$ ), т. е.  $d_L \leq DW \leq 4 - d_U$ , что указывает на отсутствие автокорреляции.

Оценка предложенной модели на возможное наличие гетероскедастичности выполнена с помощью теста Бройша-Пагана, измеряющего постоянство дисперсии остатков случайных отклонений [Breusch, Pagan, 1979]. Данным тестом проверены две альтернативные гипотезы: во-первых, нулевая гипотеза, предполагающая, что остатки в модели гомоскедастичны и, во-вторых, гипотеза отсутствия постоянства дисперсии остатков, означающая наличие гетероскедастичности и, как следствие, ненадёжность модели. При заданных параметрах модели расчётное значение критерия Хи-квадрат Пирсона ( $\chi^2_{кр}$ ) составляет 1,29, в то время как его критическое значение ( $\chi^2_{кр}$ ), полученное с помощью соответствующей статистической функции Excel, при уровне значимости 5% и трех переменных равно 7,82. Поскольку  $\chi^2_{кр} > \chi^2_{расч}$  справедлива нулевая гипотеза, означающая отсутствие гетероскедастичности в тестируемой регрессионной модели и указывающая на её высокое правдоподобие.

Ещё одной характеристикой качества построенной регрессии является средняя ошибка аппроксимации, показывающая степень отклонения полученных с помощью модели значений от фактических величин. При заданных исходных данных и используемом для их описания уравнении регрессии величина коэффициента аппроксимации уравнения (5) составляет 2,0%, что свидетельствует о высоком качестве построенной модели.

Таким образом, результаты тестирования предложенной модели, описывающей зависимость уровня душевого потребления рыбопродуктов в РФ от основных факторов с помощью уравнения многомерной регрессии, указывают на её способность адекватно отражать реальные процессы.

### 3. Оценка эластичности спроса

Предложенная эмпирическая модель позволяет определить ключевые факторы, воздействие на ко-

торые даст наибольший эффект в виде роста потребления рыбопродуктов. Это можно сделать с помощью стандартного метода оценки эластичности. Используя уравнение (5), содержащее выявленные и численно измеренные связи между отдельными регрессорами и результивным показателем, и применив известную формулу расчёта коэффициента эластичности [Пиндайк, Рубенфельд, 2002] вида

$$E_j = b_j \cdot \frac{\bar{f}_j}{\bar{Y}},$$

где  $b_j$  – коэффициент регрессии  $j$ -го фактора;  $\bar{f}_j$  – среднее значение признака  $j$ -го фактора;  $\bar{Y}$  – среднее значение показателя потребления рыбопродуктов, можно рассчитать величины частных коэффициентов эластичности по выбранным факторам. Эти величины составляют  $EY/X_1 = 0,564$ ;  $EY/X_2 = -0,281$ ,  $EY/X_3 = -0,563$ , соответственно, для покупательной способности, относительного индекса цен на рыбопродукты и индекса тарифов на грузоперевозки. Полученные значения согласуются как с нашими предыдущими оценками [Мнацаканян и др., 2021], так и с расчётами других авторов [Романова, 2016], показавших, что уровень эластичности спроса на рыбопродукты в РФ по цене и по доходу находится в диапазоне 0,5-0,6.

Поскольку наибольшее влияние на потребление рыбопродуктов оказывают покупательная способность денежных доходов населения и индекс тарифов на грузоперевозки, управление данными факторами должно стать основой решений, направленных на рост потребления рыбопродуктов в РФ. Несмотря на одинаковую (по модулю) силу воздействия этих факторов на потребление, приоритет следует отдавать мерам по повышению покупательной способности, поскольку данный показатель статистически теснее, чем индекс тарифов на грузоперевозки связан с уровнем потребления рыбопродуктов. Синтетический показатель, отражающий разницу между индексами цен на рыбопродукты и на продовольственные товары оказывает незначительное влияние на потребление. Данный результат можно интерпретировать как слабую зависимость уровня потребления рыбопродуктов в РФ от психологически обусловленных мотивов, вызванных краткосрочными колебаниями цен на рыбопродукты. Вместе с тем, предложенная модель не учитывает долгосрочные (свыше одного года) последствия таких колебаний.

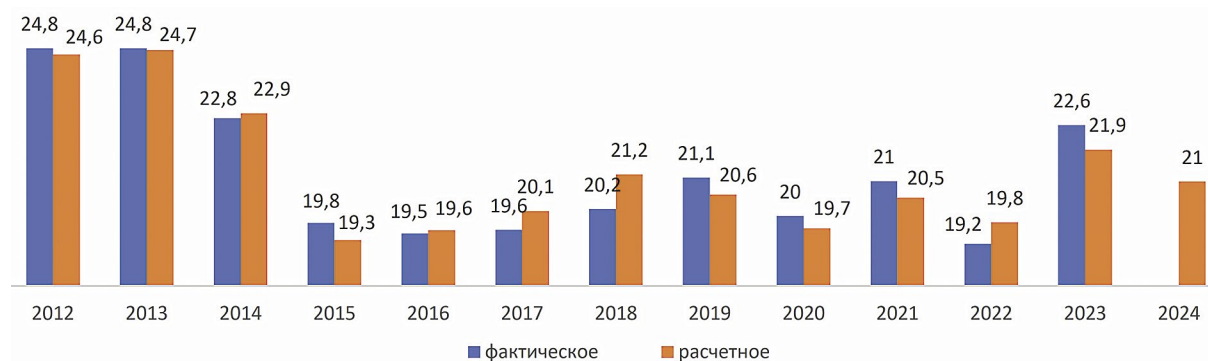
### 4. Оценка уровня потребления

Модель (5) позволяет оценивать и прогнозировать потребление рыбопродуктов и, в частности, может

служить инструментом верификации официальных сведений о величине этого показателя. На рисунке приведены фактические (по данным Росстата) и расчётные (полученные с помощью модели) значения уровня среднедушевого потребления рыбы и рыбопродуктов в РФ.

Сравнение двух рядов данных, приведённых на рисунке, показывает, что наибольшие расхождения (более чем 2,5%) между фактическими (официальными) и расчётными значениями показателя отмечались в 2015, 2017-2018 и 2022-2023 гг. Эти расхождения могут быть объяснены как погрешностями модели

факторов. Помимо явных факторов, определяющих экономические мотивы потребителей, которые в основном нашли отражение в спецификации нашей модели, в их число также входят социальные и культурные нормы, традиции и привычки, забота о здоровье и прочие субъективные предпочтения. Последние, обычно описываемые посредством теории запланированного поведения [Scholderer, Grunert, 2001] или моделей «отношения-поведение» [Trondsen et al., 2004], тем не менее, трудно поддаются операционализации и выявлению причинно-следственных связей [Mitterer-Daltoé, 2013]. Недостатком предложенной



**Рис.** Фактический (официальный) и расчётный уровни потребления рыбы и рыбопродуктов в РФ, кг/чел. в год в весе сырья  
**Fig.** Actual and estimated levels of fish and fish products consumption in the Russian Federation, kg/person per year in raw weight

Источник: Росстат, расчёты авторов

Примечание: расчётная величина потребления в 2024 г. – грубая оценка, выполненная путём экстраполяции на весь год неполных данных.

и действием неучтённых факторов, так и ошибками официальной статистики. На возможность последних указывает феноменальный рост потребления рыбопродуктов в 2023 г. (на 14%), не согласующийся ни с динамикой покупательной способности по основному рыбному товару – рыбе мороженой неразделанной (снижение на 1%), ни с показателем индекса физического объёма розничных продаж рыбо- и морепродуктов (рост на 2%), согласно данным Росстата.<sup>4</sup> С другой стороны, расхождения в 2017-2018 гг. могут быть следствием неучтённого моделью пролонгированного действия ценового шока 2015 года (который из-за своей масштабности также частично был пропущен моделью). Указанный недостаток модели обозначает одно из направлений её совершенствования – включение показателей и инструментов, позволяющих полнее отражать влияние неэкономических факторов.

Следует отметить, что на поведение потребителей рыбопродуктов влияет множество разнообразных

модели является лишь частичное отражение неэкономических факторов спроса на рыбопродукты, в основном сводящееся к учёту их краткосрочной экономической составляющей. Хотя спрос на рыбопродукты более чувствителен к изменению основных факторов, чем спрос на продукты питания в целом, данный товар относится к числу низкоэластичных. Такая консервативность определяет необходимость учёта долгосрочной составляющей склонности к потреблению рыбопродуктов. Поэтому дальнейшим совершенствованием модели должно стать включение в её состав показателей, позволяющих отражать влияние на спрос неэкономических факторов не только в кратком, но и в долгосрочной перспективе.

Предложенная модель, как и выводы, полученные в результате её применения, относятся ко всей группе рыбопродуктов в целом. Однако интерес также представляет изучение дезагрегированных данных, позволяющее улучшить понимание механизмов действия ключевых факторов спроса на отдельные рыбные товары. Кроме того, важным для разработки эффективных мер политики в области рыбного хозяйства яв-

<sup>4</sup> Российский статистический ежегодник. 2024: Стат.сб./Росстат. М.: 630 с.

ляется более детальный анализ влияния социально-демографических характеристик потребителей на спрос на рыбопродукты.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование спроса на рыбу и рыбопродукты в РФ указывает на наличие тесной связи между уровнем потребления и покупательной способностью доходов населения. Потребление рыбопродуктов также в определённой мере зависит от динамики цен на рыбопродукты относительно соответствующего показателя по всем продовольственным товарам и от темпов роста тарифов на грузоперевозки. Основываясь на выявленных статистических связях, была предложена регрессионная модель, описывающая зависимость потребления рыбопродуктов от названных факторов. Результаты тестирования показали достаточно высокий уровень статистической значимости и объяснённой дисперсии, что даёт основания говорить об адекватности предложенной модели.

Применение модели для оценки эластичности спроса на рыбопродукты указывает на его высокую чувствительность к уровню текущей покупательной способности и к изменению тарифов на грузоперевозки. Воздействие на данные факторы является наиболее перспективными направлениями политики управления спросом на рыбопродукты. В работе также оценены расхождения между фактическими (официальными) и расчётными (полученными с помощью модели) данными о потреблении рыбопродуктов и объяснены возможные причины этих расхождений. Такими причинами могут быть как ошибки официальной статистики, так и несовершенство модели.

Представляется, что дальнейшее развитие предложенного в работе подхода может внести определённый вклад в совершенствование научного обеспечения, служащего выработке решений в области регулирования отечественного рынка рыбной продукции.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

## Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБОУ ВО «КГТУ».

## ЛИТЕРАТУРА

- Гулюгина А.А. 2023. Покупательная способность денежных доходов населения России в условиях современных вызовов // Уровень жизни населения регионов России. Т. 19. № 3. С. 395-406. DOI: 10.52180/1999-9836\_2023\_19\_3\_7\_395\_406
- Мнацаканян А.Г., Карлов А.М., Харин А.Г. 2021. Метод оценки экономической доступности рыбных продуктов в контексте обеспечения продовольственной безопасности // Морские интеллектуальные технологии. Т. 4. № 4. С. 135-140.
- Мнацаканян А.Г., Харин А.Г. 2025. Исследование межрегиональных различий в ценах на некоторые рыбопродукты и на товары-заменители рыбы в Российской Федерации // АПК: экономика, управление. № 2. С. 55-65. DOI: 10.33305/252-55.
- Пиндайк Р., Рубенфельд Д. 2002. Микроэкономика. / Пер. с англ. СПб.: Питер, 608 с.
- Романова Л.В. 2016. Особенности формирования спроса на рыбную продукцию в отдельных регионах Центрального федерального округа // Фундаментальные исследования. № 2-1. С. 197-201.
- Фоломеева Т.В. 2012. Потребительские аттитуды и лояльность // Вестник Санкт-Петербургского университета. Вып. 2(12). С. 184-193.
- Birch D., Lawley M. 2014. The role of habit, childhood consumption, familiarity and attitudes across seafood consumption segments in Australia // Journal of Food Products Marketing. V. 20(1). P. 98-113. DOI: 10.1080/10454446.2012.732548
- Breusch T.S., Pagan A.R. 1979. A Simple Test for Heteroscedasticity and Random Coefficient Variation // Econometrica. V. 47(5). P. 1287-1294. DOI: 10.2307/1911963
- Carlucci D., Nocella G., De Devitiis B., Viscicchia R., Bimbo F., Nardone G. 2015. Consumer purchasing behaviour towards fish and seafood products: Patterns and insights from a sample of international studies // Appetite. V. 84. P. 212-227. DOI: 10.1016/j.appet.2014.10.008.
- Durbin J., Watson G.S. 1950. Testing for Serial Correlation in Least Squares Regression: I // Biometrika. V. 37(3-4). P. 409-428. DOI:10.1093/biomet/37.3-4.409
- Houthakker H.S., Taylor L.D. 1966. Consumer Demand in the United States, 1929-1970. Analyses and Projections. Harvard Economic Studies, volume 126. Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1966, 214 p. doi:10.1017/S0770451800038690.
- Kusumastanto T., Jolly C.M. 1997. Demand analysis for fish in Indonesia // Applied Economics. V. 29(1). P. 95-100. DOI: 10.1080/000368497327443
- Mitterer-Daltoé M.L., Carrillo E., Queiroz M.I., Fiszman S., Varela P. 2013. Structural equation modelling and word association as tools for a better understanding of low fish consumption // Food Research International. V. 52(1). P. 56-63. DOI: 10.1016/j.foodres.2013.02.048
- Nerlove M. 1958. Distributed lags and estimation of long-run supply and demand elasticities // Journal of Farm Economics. V. 40. P. 301-311.

- Olsen S.O. 2004. Antecedents of Seafood Consumption Behavior. An Overview // Journal of Aquatic Food Product Technology. V. 13 (3). P. 79-91. DOI: 10.1300/J030v13n03\_08
- Scholderer J., Trondsen T. 2008. The dynamics of consumer behaviour on habit, discontent, and other fish to fry // Appetite. V. 51(3). P. 576-591. DOI: /10.1016/j.appet.2008.04.011
- Scholderer J., Grunert K.G. 2001. Does generic advertising work? A systematic evaluation of the Danish campaign for fresh fish // Aquaculture Economics & Management. V. 5(5-6). P. 253-271. DOI: 10.1080/13657300109380293
- Tambunan M.M.L., Balqiah T.E. 2020. Increasing fish consumption: A perspective theory of planned behaviour and role of confidence. In book: Advances in Business, Management and Entrepreneurship. ImprintCRC Press. Pp. 1050. P. 102-108. DOI:10.1201/9780429295348-25
- Thapa G., Dey M.M., Engle C. 2015. Consumer preferences for live seafood in the Northeastern Region of USA: results from Asian ethnic fish market survey // Aquaculture Economics & Management. V. 19(2). P. 10-25. DOI: 10.1080/13657305.2015.1024346
- Thorsdottir F., Sveinsdottir K., Jonsson F.H., Einarsdottir G., Thorsdottir I., Martinsdottir E. 2012. A model of fish consumption among young consumers // Journal of Consumer Marketing. V. 29(1). P. 4-12. DOI: 10.1108/07363761211193000
- Trondsen T., Braaten T., Lund E., Eggen A.E. 2004. Health and seafood consumption patterns among women aged 45-69 years. A Norwegian seafood consumption study // Food Quality and Preference. V. 15(2). P. 117-128. DOI: 10.1016/S0950-3293(03)00038-7
- Welch A.A., Lund E., Amiano P., Dorronsoro M., Brustad M., Kumle M., et al. 2002. Variability of fish consumption within the 10 European countries participating in the European Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC) study. Public Health Nutrition. V. 5(6). P. 1273-85. DOI: 10.1079/PHN2002404
- Yousuf J.B., Bose S., Kotagama H., Boughanmi H. 2018. Preferences and intentions of seafood consumers in Oman: an empirical analysis // Journal of International Food and Agribusiness Marketing. V. 31(2). P. 175-203. DOI : 10.1080/08974438.2018.1497565
- ics, Management. No. 2. Pp. 55-65. DOI: 10.33305/252-55. (in Russ.)
- Pindyke R., Rubinfeld D. 2002. Microeconomics. / Translated from English. SPb.: Piter, 608 p. (in Russ.)
- Romanova L.V. 2016. Features of demand formation for fish products in certain regions of the Central Federal District // Fundamental research. No. 2-1. Pp. 197-201. (in Russ.)
- Folomeeva T.V. 2012. Consumer attitudes and loyalty // Bulletin of St. Petersburg University. Issue. 2(12). Pp. 184-193.
- Birch D., Lawley M. 2014. The role of habit, childhood consumption, familiarity and attitudes across seafood consumption segments in Australia // Journal of Food Products Marketing. V. 20(1). P. 98-113. DOI: 10.1080/10454446.2012.732548 (in Russ.)
- Breusch T.S., Pagan A.R. 1979. A Simple Test for Heteroscedasticity and Random Coefficient Variation // Econometrica. V. 47(5). P. 1287-1294. DOI: 10.2307/1911963
- Carlucci D., Nocella G., De Devitiis B., Viscecchia R., Bimbo F., Nardone G. 2015. Consumer purchasing behaviour towards fish and seafood products: Patterns and insights from a sample of international studies // Appetite. V. 84. P. 212-227. DOI: 10.1016/j.appet.2014.10.008.
- Durbin J., Watson G.S. 1950. Testing for Serial Correlation in Least Squares Regression: I // Biometrika. V. 37(3-4). P. 409-428. DOI:10.1093/biomet/37.3-4.409
- Houthakker H.S., Taylor L.D. 1966. Consumer Demand in the United States, 1929-1970. Analyses and Projections. Harvard Economic Studies, volume 126. Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1966, 214 p. doi:10.1017/S0770451800038690.
- Kusumastanto T., Jolly C.M. 1997. Demand analysis for fish in Indonesia // Applied Economics. V. 29(1). P. 95-100. DOI: 10.1080/000368497327443
- Mitterer-Daltoé M.L., Carrillo E., Queiroz M.I., Fiszman S., Varela P. 2013. Structural equation modelling and word association as tools for a better understanding of low fish consumption // Food Research International. V. 52(1). P. 56-63. DOI: 10.1016/j.foodres.2013.02.048
- Nerlove M. 1958. Distributed lags and estimation of long-run supply and demand elasticities // Journal of Farm Economics. V. 40. P. 301-311.
- Olsen S.O. 2004. Antecedents of Seafood Consumption Behavior. An Overview // Journal of Aquatic Food Product Technology. V. 13 (3). P. 79-91. DOI: 10.1300/J030v13n03\_08
- Scholderer J., Trondsen T. 2008. The dynamics of consumer behaviour on habit, discontent, and other fish to fry // Appetite. V. 51(3). P. 576-591. DOI: /10.1016/j.appet.2008.04.011
- Scholderer J., Grunert K.G. 2001. Does generic advertising work? A systematic evaluation of the Danish campaign for fresh fish // Aquaculture Economics & Management. V. 5(5-6). P. 253-271. DOI: 10.1080/13657300109380293
- Tambunan M.M.L., Balqiah T.E. 2020. Increasing fish consumption: A perspective theory of planned behaviour and role of confidence. In book: Advances in Business, Management and Entrepreneurship. ImprintCRC Press. Pp. 1050. P. 102-108. DOI:10.1201/9780429295348-25

## REFERENCES

- Gulyugina A.A. 2023. Purchasing Power of Monetary Income of the Population of Russia in the Context of Modern Challenges // Standard of Living of the Population of the Regions of Russia. Vol. 19. No. 3. Pp. 395-406. DOI: 10.52180/1999-9836\_2023\_19\_3\_7\_395\_406 (in Russ.)
- Mnatsakanyan A.G., Karlov A.M., Kharin A.G. 2021. Method for Assessing the Economic Affordability of Fish Products in the Context of Ensuring Food Security // Marine Intellectual Technologies. Vol. 4. No. 4. Pp. 135-140. (in Russ.)
- Mnatsakanyan A.G., Kharin A.G. 2025. Study of Interregional Differences in Prices for Some Fish Products and Fish Substitute Goods in the Russian Federation // AIC: Econom-

- Thapa G., Dey M.M., Engle C.* 2015. Consumer preferences for live seafood in the Northeastern Region of USA: results from Asian ethnic fish market survey // *Aquaculture Economics & Management*. V. 19(2). P. 10-25. DOI: 10.1080/13657305.2015.1024346
- Thorsdottir F., Sveinsdottir K., Jonsson F.H., Einarsdottir G., Thorsdottir I., Martinsdottir E.* 2012. A model of fish consumption among young consumers // *Journal of Consumer Marketing*. V. 29(1). P. 4-12. DOI: 10.1108/07363761211193000
- Trondsen T., Braaten T., Lund E., Eggen A.E.* 2004. Health and seafood consumption patterns among women aged 45-69 years. A Norwegian seafood consumption study // *Food Quality and Preference*. V. 15(2). P. 117-128. DOI: 10.1016/S0950-3293(03)00038-7
- Welch A.A., Lund E., Amiano P., Dorransoro M., Brustad M., Kumle M., et al.* 2002. Variability of fish consumption within the 10 European countries participating in the European Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC) study. *Public Health Nutrition*. V. 5(6). P. 1273-85. DOI: 10.1079/PHN2002404
- Yousuf J.B., Bose S., Kotagama H., Boughanmi H.* 2018. Preferences and intentions of seafood consumers in Oman: an empirical analysis // *Journal of International Food and Agribusiness Marketing*. V. 31(2). P. 175-203. DOI: 10.1080/08974438.2018.1497565

Поступила в редакцию 04.04.2025 г.  
Принята после рецензии 07.09.2025 г.



УДК 658:639.2/3

**Экономика, международное сотрудничество и нормативные правовые основы  
рыбохозяйственной деятельности**

## **Корпоративная культура как фактор устойчивого развития предприятий рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации**

*Н.Н. Яркина, Н.А. Логунова*

Керченский государственный морской технологический университет (ФГБОУ ВО «КГМТУ»), ул. Орджоникидзе, 82, г. Керчь, 298309

E-mail: natalya\_logunova@mail.ru

SPIN-код: Н.Н. Яркина 1339-3911, Н.А. Логунова 2280-5628

**Цель работы:** актуализация и научно-прикладная конкретизация корпоративной культуры, как фактора устойчивого развития предприятий рыбохозяйственного комплекса РФ. **Используемые методы:** метод научного обзора, включающий отбор, анализ, систематизацию и логическое обобщение информации по проблематике корпоративной культуры и устойчивого развития, и такие его разновидности, как аксиоматический и дескриптивный методы; статистические методы простых преобразований и интерпретации. **Новизна** результатов исследования определяется тем, что экономическая категория «корпоративная культура» уточнена и сущностно дополнена как фактор устойчивого развития предприятий рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации. **Результаты исследования:** в работе представлена системно-структурированная характеристика корпоративной культуры как научного экономического понятия; обоснована её актуальность как фактора устойчивого развития предприятий рыбохозяйственного комплекса; акцентирован её потенциал в решении проблем обеспечения здорового образа жизни и нутриционной безопасности населения страны, а также сохранения водных биоресурсов и морских экосистем; предложены обобщённые формулировки миссии предприятий рыболовства и товарной аквакультуры; дано её определение как комплексного понятия в контексте устойчивого развития предприятий национального рыбохозяйственного комплекса. **Практическая значимость** исследования состоит в том, что его направленность отвечает общемировому тренду на устойчивое развитие, в частности, на решение проблем продовольственной, нутриционной, экологической безопасности «силами» корпоративной культуры предприятий рыбохозяйственного комплекса. Представленные примеры, обобщения и наработки могут послужить отправной точкой для формирования эффективной корпоративной культуры отдельных предприятий рыбной отрасли России.

**Ключевые слова:** корпоративная культура, предприятия рыбохозяйственного комплекса, устойчивое развитие, фактор.

## **Corporate Culture as a Factor in the Sustainable Development of Fisheries Enterprises in the Russian Federation**

*Natalya N. Yarkina, Natalya A. Logunova*

Kerch State Maritime Technological University (KSMTU), 82, Ordzhonikidze str., Kerch, 298309, Russia

**The aim** of the study is the scientific and applied specification of corporate culture as a factor in the sustainable development of enterprises in the fisheries sector of the Russian Federation. **The study uses the method** of scientific review, including selection, analysis, systematization, and logical generalization of information on corporate culture and sustainable development, along with axiomatic and descriptive methods, and basic statistical techniques of transformation and interpretation. **The novelty of the research** lies in clarifying the economic category of corporate culture and defining it as a key factor in the sustainable development of fisheries enterprises. **The study presents** a systematically structured description of corporate culture as a scientific and economic concept, substantiates its relevance to sustainable development, highlights its potential in promoting a healthy lifestyle, nutritional security, and the preservation of aquatic bioresources and marine ecosystems. Generalized mission statements for fisheries and aquaculture enterprises are proposed, and corporate culture is defined as a comprehensive concept in the context of sustainability. **The practical significance** of the research lies in its alignment with the global agenda for sustainable development, particularly in solving issues of food, nutritional, and environmental security through the corporate culture of fisheries enterprises. The presented examples and findings can serve as a starting point for forming an effective corporate culture within individual Russian fishing companies.

**Keywords:** corporate culture, fisheries enterprises, sustainable development, factor.

## ВВЕДЕНИЕ

Устойчивое развитие предприятий рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации – безальтернативный вектор современности, обусловленный необходимостью обеспечить не только жизнеспособность, но высокий уровень качества жизни последующим поколениям, отклониться от которого означает поставить под угрозу их будущее благополучие.

Идея устойчивого развития общества имеет давнюю предысторию и подкреплена целым пакетом программных документов международного уровня, среди которых по критериям своевременности, целеопределённости и предметности выделяется «Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года» [ООН, 2015] – документ, в котором обозначены семнадцать целей в области устойчивого развития, значимое место в реализации которых занимает рыбохозяйственный комплекс, в частности, рыболовство и аквакультура как первичное ресурсообеспечивающее звено в цепочке создания ценности рыбной продукции.

Устойчивое развитие предприятий рыбохозяйственного комплекса справедливо ставится в прямую зависимость от создания и внедрения в эксплуатацию судов и промыслового оборудования нового поколения, развития и применения голубых биотехнологий, разработки экологических проектов относительно водной среды обитания и т. д., способствующих совершенствованию технической и технологической (т. е. материальной) базы производства рыбной отрасли. Современная наука обеспечивает высокий потенциал устойчивого развития рыбохозяйственного комплекса на инновационной технико-технологической основе, реализация которого на практике сталкивается не только с трудностями финансового обеспечения собственных для рыболовства и аквакультуры капиталоемких проектов, но и зависит от действенности и эффективности механизма управления рыбохозяйственными предприятиями, важнейшим инструментальным средством которого является корпоративная культура – нематериальный актив, возрастающую роль которой в устойчивом развитии трудно переоценить.

Цель исследования – актуализация и научно-прикладная конкретизация корпоративной культуры как фактора устойчивого развития предприятий рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации (РХК РФ).

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В основу исследования были положены:

– программные документы и материалы ООН и её подразделений (ФАО) по вопросам устойчивого раз-

вития, включая устойчивое развитие рыболовства и аквакультуры [Развитие аквакультуры, 2013], а также Ассоциации судовладельцев рыбопромыслового флота (Россия)<sup>1,2,3,4,5</sup>;

– научные публикации и практические наработки в сфере корпоративной культуры зарубежных и отечественных авторов, среди которых целесообразно выделить: Дж. Греннан и К. Ли, проделавших основательный анализ более восьмидесяти источников относительно сущностных характеристик корпоративной культуры, рассматривая её как неформальный институт, сложную многоэлементную структуру, имеющую высокий потенциал развития благодаря современным цифровым технологиям, позволяющим глубже понять влияние культурных изменений на экономические явления и бизнес-результаты и своевременно их принять или опровергнуть [Grennan, Li, 2022]; Б. Гройсберга, Дж. Ли, Дж. Прайса и Дж. Ченга [Groysberg et al., 2018], акцентирующих роль лидера в формировании и реализации корпоративной культуры, выделивших ключевые характеристики корпоративной культуры и установивших сферы влияния корпоративной культуры на успех деятельности предприятия; М. Григорак и В. Лега, рассматривающих корпоративную культуру в качестве нематериального актива и действенного инструмента повышения эффективности управления предприятием стратегического уровня, выделяющих её реинжиниринговый потенциал [Hryhorak, Leha, 2020]; Н. Акрамову [2024], определяющую эффективную корпоративную культуру как ключевой фактор долговременного успеха акционерных обществ, выделяя основные проблемы её формирования и пути их решения; М. Кожухметову, М. Алиеву и К. Мадыханову [2022], результатом исследований которых, в том числе, стала количественная оценка влияния корпоративной культуры на экономическую эффективность предприятий на основе авторского методического подхода; А. Гретченко, Т. Петрову и А. Рафаеву [2024], выделяющих инновационность корпоративной культу-

<sup>1</sup> ООН. 2015. Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года. Резолюция, принятая Генеральной Ассамблеей 25 сентября 2015 года. А/RES/70/1. 44 с. [https://www.un.org/en/development/desa/population/publications/2030\\_Agenda\\_ru.pdf](https://www.un.org/en/development/desa/population/publications/2030_Agenda_ru.pdf)

<sup>2</sup> ООН. 1987. Наше общее будущее. Доклад Международной комиссии по окружающей среде и развитию. <https://www.un.org/ru/ga/pdf/brundtland.pdf>

<sup>3</sup> ФАО. 2015. Инициатива ФАО «Голубой рост» и аквакультура. <http://www.fao.org/cofi/43732-0d96f652208820299a272b5bd477b0406.pdf>

<sup>4</sup> ФАО. 1995. Кодекс ведения ответственного рыболовства. Рим. <https://www.fao.org/iuu-fishing/international-framework/code-of-conduct-for-responsible-fisheries/ru/>

<sup>5</sup> АСРФ. 2022. Кодекс устойчивого рыболовства. <https://fsarf.ru/fishing/>

ры как свойство, предопределяющее потенциал развития компаний на инновационной основе; М. Рабха, обозначившего тенденции корпоративной культуры на 2025 год, которые не потеряют своей актуальности и на последующие годы<sup>6</sup>;

– данные официальной статистики ФАО, Российской Федерации, Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО) [Состояние мирового ..., 2014, 2024; Российский статистический ..., 2021, 2024; Статистические ведения..., 2022-2024<sup>7,8</sup>];

– материалы официальных сайтов ведущих рыбохозяйственных компаний Российской Федерации<sup>9,10,11</sup>;

– результаты предыдущих авторских исследований в области устойчивого развития национального рыбохозяйственного комплекса [Яркина, 2019; Яркина, Логунова, 2023].

Теоретическая часть исследования опиралась на такие научные методы как «научный обзор», в основе которого лежат отбор, анализ, систематизация и логическое обобщение информации из различных первоисточников по проблематике корпоративной культуры и устойчивого развития, и, в частности, на: аксиоматический метод (идея которого состоит в принятии ранее установленных утверждений и характеристик относительно корпоративной культуры к определению корпоративной культуры как фактора устойчивого развития предприятий рыбохозяйственного комплекса, их уточнении и дополнении с учётом предмета исследования); дескриптивный метод (требующий выделения опорных понятий исследования, позволяющий конкретизировать ход исследования и акцентировать его ключевые моменты, такие как связь корпоративной культуры с устойчивым развитием рыбохозяйственных предприятий). Реализация выделенных методов сочетается с применением дедуктивного метода, как одного из ключевых в системе методов логического познания. Исследования прикладного характера проводились с применением таких статистических методов как простые преобразования и интерпретация.

<sup>6</sup> Rabha M. 8 Corporate Culture Trends 2025. URL: <https://www.vantagecircle.com/en/blog/corporate-culture/>

<sup>7</sup> АСРФ. Экспорт рыбной продукции в 2023 году. <https://fsarf.ru/analytics/eksport-rybnoy-produksii-v-2023-godu/>

<sup>8</sup> Раскинули сети. Отраслевые рейтинги. 20 крупнейших рыболовецких компаний РФ. <https://vestnikap.ku/articles/otraslevye-reytingi/raskinuli-seti/>

<sup>9</sup> SUSTAINABLE FUTURE. NOREBO. <https://norebo-cms.khromchenkov.com>

<sup>10</sup> INARCTICA. <https://inarctica.com>

<sup>11</sup> АО «ОКЕАНРЫБФЛОТ». <https://okeanrybflot.ru>

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Понятие «культура» как исторически сложившийся образ жизни людей, включающий в себя ценности и нормы, верования и обряды, знания и умения, обычаи и установления, технику и технологии, способы мышления, деятельности, взаимодействия и коммуникации и т. д. [Межуев, 2006], позволяет рассматривать данную категорию не только как изначально социальное явление, но и как экономический феномен, имеющий различные экономические области проявления (в частности, «корпоративная культура», «бизнес культура», «инновационная культура», «риск-культура») и соответствующие им трактования. Понятие «корпоративная культура» представляется как наиболее ёмкое, предопределяющее общий подход и ориентиры для формирования «субкультур» предприятий.

Анализ публикаций по проблематике корпоративной культуры позволил обозначить её сущностное содержание и выделить основные аспекты и их характеристики, в системно-структурированном виде представленные на рис. 1.

Представленные характеристики раскрывают многогранность и функциональный потенциал корпоративной культуры как сложного явления – феномена современной экономики и значимого фактора устойчивого развития бизнеса.

«Набор» характеристик корпоративной культуры однотипен (универсален) для многих предприятий, что не относится к их содержательной стороне. На каждом предприятии действует свой культурный код, т. е. собственный набор ключевых ценностей, норм, традиций и моделей поведения, символов и целевых ориентиров, которые изменяются, уточняются с учётом складывающихся социально-экономических требований и тенденций современности.

Роль корпоративной культуры в условиях социально- и эколого-ориентированной экономики повышается, а первичный рыбохозяйственный сектор является значимой её составляющей.

Производители продукции из водных биоресурсов относятся к важнейшим субъектам обеспечения продовольственной и нутриционной безопасности. По данным ФАО более 3,1 млрд человек (свыше 40% населения планеты) не могут позволить себе здоровое питание. Рыбная отрасль обеспечивает в пищевом рационе мирового населения около одной шестой части животного белка (по данным 2022 года – около 15%) и пятнадцатую часть всего потребляемого белка. При этом отмечается опережающий рост потребления рыбы по сравнению с темпами роста спроса на говядину, свинину и птицу [Состояние мирового ..., 2024].

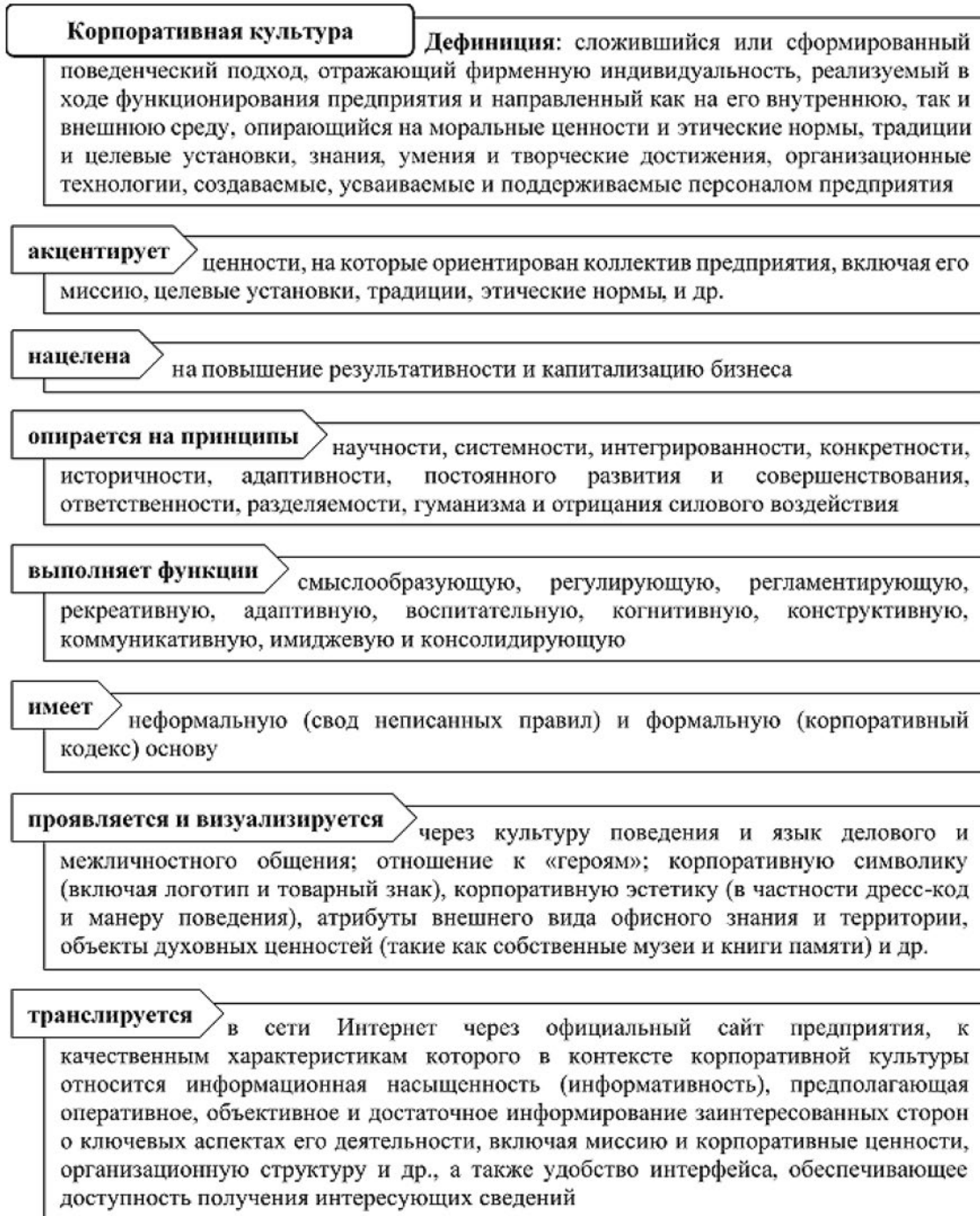


Рис. 1. Содержательная характеристика корпоративной культуры

Fig. 1. Substantive characteristics of corporate culture

Россия занимает пятое место в восьмёрке стран – мировых лидеров в секторе рыболовства: Китай (14,3%), Индонезия (8,0%), Индия (6,0%), Перу (5,8%), РФ (5,4%), США (4,6%), Вьетнам (3,9%) и Япония (3,2%) (по данным ФАО за 2022 год [Состояние мирового ..., 2024]). При этом доля рыбной продукции в рационе её жителей составляет около 11% (по данным исследования медиа-

холдинга Rambler&Co<sup>12</sup>), со значительным отрывом от потребления птицы, на долю которой приходится 62%, и говядины, свинины и т. п., совокупно занимающих 27%.

В табл. 1 представлены данные, позволяющие оценить и сравнить уровень, динамику и структуру

<sup>12</sup> Rambler&Co. <https://rambler-co.ru/>

объёмов производства продукции мирового и отечественного секторов рыболовства и аквакультуры, а также уровень и динамику подушевого потребления продукции их водных биоресурсов животного происхождения (под общим названием «рыбная продукция») в Мире и России.

достиг 2,6 млн т, превысив на 16,8% итоги 2022 года,<sup>16</sup> что в целом не является сдерживающим фактором отечественного потребления рыбной продукции населением. Потенциал отечественной рыбодобычи достаточно высок и в первую очередь это касается минтая – основной промысловой рыбы России, добыча которой

**Таблица 1.** Данные для сравнительной характеристики мирового и российского рыболовства и аквакультуры за 2000-2023 гг.

**Table 1.** Data for comparative characteristics of world and Russian fisheries and aquaculture for 2000-2023

Годы	Производство продукции в эквиваленте живого веса, млн т, всего		В том числе				Потребление рыбной продукции на душу населения, кг	
			рыболовство		аквакультура			
	Мир	РФ	Мир	РФ	Мир	РФ	Мир	РФ
1990	97,7	8,122*	84,6	7,862*	13,1	0,260*	14,4	20,4*
2000	126,0	4,089	93,6	4,012	32,4	0,077	14,5	9,5
2010	148,1	4,160	89,1	4,024	59,0	0,136	18,7	15,5
2020	177,5	5,375	89,8	5,084	87,7	0,291	20,2	20,0
2021	182,8	5,489	91,6	5,170	91,2	0,319	20,6	21,0
2022	185,4	5,341	91,0	4,993	94,4	0,348	20,7	19,2
2023	186,6	5,761	90,6	5,396	96,0	0,365	20,8	22,6

Источники: составлено по данным<sup>13,14,15</sup>; \* – ориентировочные данные.

Отметим, что среднедушевое годовое потребление рыбной продукции в мире стабильно увеличивается. Основными факторами этого роста послужили «увеличение предложения, развитие технологий хранения и распределения, изменение предпочтений потребителей и рост доходов населения» [Состояние мирового ..., 2024].

Россия в 2023 году превысила по уровню потребления рыбной продукции среднемировые данные и только приближается к максимальному среднедушевому уровню потребления рыбной продукции, достигнутому в восьмидесятых годах прошлого столетия и составившему 23 кг на человека. Следует подчеркнуть, что в настоящее время среднедушевая годовая норма потребления рыбы и других водных биоресурсов животного происхождения в стране, рекомендованная Минздравом РФ, составляет 28 кг. Поэтому достигнутые результаты далеки от оптимистических.

Значительная доля добытых российскими рыбопромышленниками водных биоресурсов животного происхождения экспортируется, в частности, по данным анализа, проведенного Ассоциацией судовладельцев рыбопромышленного флота (АСРФ), объём экспорта рыбной продукции из России в 2023 году

может быть существенно увеличена. Соотносимо с мировыми тенденциями, доходы населения Российской Федерации растут (что позволяет «примириться» с ростом цен на рыбопродукцию), технологии рыбодобычи, аквакультуры, переработки, хранения и доведения рыбной продукции до потребителя развиваются (что способствуют повышению качества конечной продукции из живых водных биоресурсов), а что касается изменения предпочтений потребителей – это проблема! По данным Росстата, доля рыбной продукции в продуктовой корзине россиян по итогам 2023 года составила 2,1% [Российский статистический ..., 2024].

Причины потребительской «невостребованности» и «непривлекательности» рыбной продукции в стране оказались, на первый взгляд, неочевидными, связанными с недостаточностью знаний и слабой информированностью о самой рыбе и морепродуктах, их потребительской пользе и характеристиках по видовому составу и степени обработки/переработки, способах «правильного» и вкусного приготовления в домашних условиях и т. д.

О необходимости развивать и прививать культуру потребления рыбной продукции говорилось в рамках дискуссии «Барьеры и драйверы потребления рыбы в России: маркетинг и развитие здорового питания

<sup>13</sup> ФАО. <https://www.fao.org/home/ru>

<sup>14</sup> Росстат. <https://rosstat.gov.ru/>

<sup>15</sup> ВНИРО. <http://www.vniro.ru/ru/>

<sup>16</sup> АСРФ. Экспорт рыбной продукции в 2023 году. <https://fsarf.ru/analytics/eksport-rybnoy-produktsii-v-2023-godu/>

населения» на Восточном экономическом форуме – 2024 во Владивостоке. Отмечалось, что информирование граждан о пользе рыбопродуктов, рыбные фестивали и кулинарные мастер-классы, проекты, связанные с увеличением доступности качественной продукции во всех регионах, обеспечат рост душевого потребления рыбной продукции в стране.

Функция популяризации рыбной продукции и повышения информированности населения о ней должна выполняться на уровне всех экономических субъектов, начиная с продуцентов, далее торговых и маркетинговых структур, отрасли в целом в лице Росрыболовства и государства. Но именно производители – предприятия рыболовства и аквакультуры – более чем кто-либо заинтересованы в том, чтобы результаты их деятельности дошли до конечного потребителя с максимальной для него пользой и в полном объёме, обеспечив рыбопроизводителям соответствующие экономические выгоды.

Корпоративная культура, может стать тем действенным инструментом, который через формулировку основополагающих ориентиров (предназначения – миссии) и ценностей, которым следует предприятие, будет транслировать его вклад в общественно значимое благо, создавая и поддерживая собственный репутационный статус.

В миссии предприятий РХП РФ должна отражаться значимость продукции из водных биоресурсов как фактора обеспечения здорового образа жизни и нутриционной безопасности. В ней должен быть заложен потенциал влияния на изменение потребительских предпочтений в пользу рыбопродукции, что соответствует мировым тенденциям и согласуется с второй целью в области устойчивого развития – «Ликвидация голода и обеспечение продовольственной безопасности» [ООН, 2015]. Таким образом, через формулировку миссии можно стремиться влиять на формирование спроса на продукцию предприятий РХП РФ.

Рассматривая проблему устойчивого развития предприятий РХК РФ, кроме акцентирования его потребительской компоненты, следует остановиться на ресурсной составляющей. Базовый ресурс отрасли в секторальных рамках рыболовства активно эксплуатируется, что ставит под угрозу его воспроизводственную способность не только на уровне расширенного воспроизводства, но и простого, и, соответственно, угрожает последующим поколениям в полноценном и достаточном обеспечении рыбной продукцией. Следует отметить, что воспроизводственный потенциал аквакультуры тоже ограничен. На развитие российского рыбоводства влияют как общие для миро-

вой аквакультуры стоп-факторы (удорожание кормов и снижение прироста производительности из-за внедрения более строгих экологических норм в странах-производителях, проблемы с размещением новых производственных мощностей из-за конкуренции за землю, деградация земельных угодий, отведённых под аквакультуру, деградация прибрежных акваторий, используемых для марикультуры, вследствие негативного антропогенного воздействия и деструктивных методов использования водной среды, и др.), так собственные факторы в странах (недостаток рыбохранилищ, недостаток отечественных мальков и недостаток комбикормов).

Количественные и качественные характеристики ресурсной базы рыболовства и аквакультуры напрямую зависят от состояния водных экосистем в районах промысла и рыбозаповедения. Соответственно, ответственное отношение к рыболовству и аквакультуре должно входить в систему ценностей, декларируемых корпоративной культурой и находить отражение в формулировке миссии рыбохозяйственных предприятий.

«Сохранение морских экосистем» – это четырнадцатая цель в области устойчивого развития, определяющая «сохранение и рациональное использование океанов, морей и морских ресурсов» как элемент устойчивого развития [ООН, 2015], реализация которой возложена и на предпринимательский уровень сектора «рыболовство и аквакультура», но при этом без сохранения морских экосистем невозможно устойчивое развитие самих предприятий РХП РФ.

Главным «ретранслятором» миссии и корпоративных ценностей является официальный сайт предприятия.

Анализ официальных сайтов ТОП-20 крупнейших рыбодобывающих компаний в РФ за 2023 год,<sup>17,18,19</sup> а также сайтов других предприятий рыболовства и аквакультуры показал, что кроме «стандартного» набора сведений, дополнительная информация о предприятии на них как правило не представлена. И только на сайте ООО «Восток-рыба» (п. Усть-Камчатск), из числа рассмотренных предприятий, выложен слоган «Когда работа – производство искусства». Тем показательнее являются примеры двух рыбохозяйственных холдингов: АО «НОРЕБО ХОЛДИНГ» (крупнейший вертикально-интегрированный рыбопромыш-

<sup>17</sup> Раскинули сети. Отраслевые рейтинги. 20 крупнейших рыболовческих компаний РФ. <https://vestnikkapk.ru/articles/otraslevye-reytingi/raskinuli-seti/>

<sup>18</sup> SUSTAINABLE FUTURE. NOREBO. <https://norebo-cms.khromchenkov.com>

<sup>19</sup> INARCTICA. <https://inarctica.com>

**Таблица 2.** Миссия и корпоративные ценности АО «Норебо холдинг» и «ПАО «ИНАРКТИКА»  
**Table 2.** Mission and corporate values of JSC NOREBO HOLDING and PJSC INARCTICS

Компания	АО «НОРЕБО ХОЛДИНГ»	«ПАО «ИНАРКТИКА»
Сектор	Рыболовство	Аквакультура
Миссия	Мы хотим, чтобы будущие поколения наслаждались качеством и вкусом дикой рыбы и морепродуктов. Для этого мы защищаем океаны с помощью: сохранения запасов рыбы в устойчивом состоянии; минимизации нашего влияния на экосистему морей в процессе добычи; работы, нацеленной на развитие устойчивого рыболовства	Мы повышаем качество жизни людей за счёт обеспечения доступа к свежей, высококачественной и богатой питательными элементами красной рыбе
Корпоративные ценности	1. Надёжность 2. Честность 3. Инновационность 4. Лидерство	1. Здоровый лосось 2. Арктическая свежесть на вашем столе 3. Рыбный день в любой день 4. Наша рыба – ваше здоровье 5. Родная планета 6. Финансовое благополучие
Кодекс поведения	Разделы: – Политика в области устойчивого рыболовства – Положения об экипаже рыбопромыслового судна и рыболовстве – Корпоративные социальные стандарты	–

ленный холдинг, включающий в себя рыбодобывающие предприятия на северо-западе России и Дальнем Востоке) и «ПАО «ИНАРКТИКА» (вертикально-интегрированный холдинг – лидер в сегменте производства аквакультурного атлантического лосося и морской форели в России во фьордах Баренцева моря и озёрах Карелии), зарегистрированных в Мурманской области. В табл. 2 приведены формулировки их миссии и корпоративных ценностей, представленные на сайтах холдингов. Следует отметить визуальную эстетику и функциональность этих сайтов, высокий уровень информативности с детализацией и толкованием изложенного.

Формулировки миссии, определения и уточнения корпоративных ценностей и другие материалы сайтов АО «НОРЕБО ХОЛДИНГ» и «ПАО «ИНАРКТИКА» несут в себе посыл к тому, что принцип устойчивого развития на основе ответственного рыболовства и аквакультуры, а также корпоративной и социальной ответственности заложен в основу их деятельности.

Предприятия сами формулируют миссию и определяют корпоративные ценности. Тем не менее, при формулировании миссии рыбодобывающих предприятий целесообразно акцентировать «удовлетворение потребностей населения в продукции из «дикой» рыбы и других животных водного происхождения без ущерба для экосистемы Мирового океана», при формулировании миссии предприятий товарной аквакультуры – «удовлетворение общественных потребностей в живой рыбе и других объектах аквакультуры,

способствуя сохранению «диких» запасов». К корпоративным ценностям можно добавить «развитие», «партнёрство», «профессионализм», «наставничество», «ответственность» и многое другое.

Понятие «ответственность» многогранно. Корпоративная культура должна отражать в том числе и ответственное отношение к персоналу предприятия, ибо люди – это наивысшая ценность. Проявление уважения и чествование ветеранов и передовиков труда, поддержка молодёжи (что особенно важно с учётом современных возрастных демографических диспропорций и соответствующих проблем с обеспечением трудовыми ресурсами), благоприятный психологический климат, атмосфера доброжелательности, поддержки и участия и т. д., также характеризуют уровень корпоративной культуры предприятия.

Труд рыбаков очень тяжёл, при этом наблюдается дефицит квалифицированной рабочей силы в отрасли и соответственно скрытая конкуренция среди работодателей за неё, и одного высокого уровня заработной платы недостаточно, чтобы сформировалась устойчивая приверженность работников к своей компании. Следует подчеркнуть, что коэффициент текучести кадров – это один из показателей эффективности корпоративной культуры, определяющий уровень производительности труда на предприятии. По данным Росстата<sup>20</sup>: рыболовство по среднему уровню оплаты труда занимает второе место среди всех видов эконо-

<sup>20</sup> Росстат. <https://rosstat.gov.ru/>

мической деятельности РФ, уступая только финансам и страхованию; в 2024 году средняя зарплата в секторе рыболовства составила 175,4 тыс. руб., в два раза превысив средний уровень заработной платы по российской экономике в целом (88 тыс. руб.).

Положительно заявить о себе, демонстрируя высокий уровень корпоративной культуры, предприятие может не только через собственный сайт, но и через такие внешние атрибуты как корпоративные символы, в частности, товарный знак или логотип предприятия на фасаде офисного здания, в изображении которого может быть явно представлен или зашифрован ключевой признак его идентификации. На авторском фото (рис. 2) изображён фасад офисного здания АО «Океанрыбфлот», в верхней части которого расположены товарный знак и одновременно эмблема предприятия – «глаз минтая» – который присутствует и на корпоративном сайте компании.<sup>21</sup>



**Рис. 2.** Офисное здание и музей АО «Океанрыбфлот» (г. Петропавловск-Камчатский)

**Fig. 2.** Office building and museum of JSC Okeanrybflot (Petropavlovsk-Kamchatsky)

Минтай является основным объектом промысла предприятия и, как отмечалось, главным объектом промысла в стране, на долю которого приходится

около 36% всех отечественных уловов. Одноэтажное здание справа от офиса – это музей истории АО «Океанрыбфлот» – первый интерактивный промышленный музей Камчатки, в котором посредством высоких технологий рассказывается не только об истории компании, её знаковых событиях и людях, о том как устроен производственный процесс рыбодобычи, специалисты каких профессий в нём задействованы и многом другом, но и о рыбе и рыбной промышленности, что значительно расширяет круг его посетителей – носителей и пользователей информации, определяющей как положительный имидж предприятия, так и привлекательность промышленного рыболовства, раскрывающей пользу рыбной продукции. Музей истории АО «Океанрыбфлот» – это один из популярных туристических объектов г. Петропавловск-Камчатский.

Корпоративная культура предприятий РХК РФ определяет организационную идентичность их персонала, формирует ощущение надёжности и чувство социальной защищённости, а также даёт понимание причастности к решению важнейших проблем современности – поддержанию надлежащего уровня качества жизни населения страны, обеспечению нутриционной безопасности и сохранению морских экосистем.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Корпоративная культура является стратегическим нематериальным активом предприятий рыбохозяйственного комплекса РФ и важным фактором их устойчивого развития. Выполняя ключевую роль в достижении продовольственной, нутриционной и экологической безопасности страны, корпоративная культура формирует ценности и миссию предприятий, определяет их социальную и экологическую ответственность, а также укрепляет репутационный капитал отрасли.

Корпоративная культура представляет собой детерминанту успешного, экономически эффективного бизнеса и источник конкурентных преимуществ предприятия, действующие через принцип вовлеченности, т. е. желание сотрудника внести свой вклад в достижение корпоративных целей и готовность взять на себя соответствующую ответственность. Она способствует активизации инновационного поведения, определяя возможности профессиональной самореализации и саморазвития членов трудового коллектива с высоким функциональным потенциалом.

Таким образом, корпоративная культура предприятия выполняет роль скрепы, предлагая набор методов и инструментов с помощью которых формируется коллектив единомышленников, «смотрящих в одну

<sup>21</sup> АО «ОКЕАНРЫБФЛОТ». <https://okeanrybflot.ru>

сторону» – сторону устойчивого развития, ориентированного на соблюдение баланса между экономическими, социальными и экологическими целями общества.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

### Финансирование

Работа выполнена по личной инициативе, без дополнительного финансирования.

### ЛИТЕРАТУРА

- Кожухметова М.К., Алиева М.М., Мадыханова К.А. 2022. Корпоративная культура как эффективный инструмент деятельности организации // *Central Asian Economic Review*. № 4(145). С. 82-93. DOI: 10.52821/2789-4401-2022-4-82-93.
- Межуев В.М. 2006. Идея культуры. Очерки по философии культуры. М.: Прогресс-Традиция, 408 с.
- Развитие аквакультуры. 4. Экосистемный подход к аквакультуре. 2013. Техническое руководство ФАО по ответственному рыбному хозяйству. № 5, Приложение 4. Рим. ФАО. 76 с.
- Российский статистический ежегодник. 2021. Стат. сб. М.: Росстат. 692 с.
- Российский статистический ежегодник. 2024. Стат. сб. М.: Росстат. 630 с.
- Состояние мирового рыболовства и аквакультуры. Возможности и проблемы. 2014. Рим: ФАО. 253 с.
- Состояние мирового рыболовства и аквакультуры – 2024. 2024. «Голубая трансформация» в действии. Рим: ФАО. 264 с. DOI: 10.4060/cd0683ru
- Статистические сведения по рыбной промышленности России. 2022. М.: ВНИРО. 86 с.
- Статистические сведения по рыбной промышленности России. 2023. М.: ВНИРО. 82 с.
- Статистические сведения по рыбной промышленности России. 2024. М.: ВНИРО. 84 с.
- Яркина Н.Н. 2019. Устойчивое развитие и инициатива «Голубой рост» // *Вестник Керченского государственного морского технологического университета*. № 3. С. 117-131.
- Яркина Н.Н., Логунова Н.А. 2023. Устойчивое развитие рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации: факторы и тенденции // *Труды ВНИРО*. Т. 192. С. 192-201. DOI: 10.36038/2307-3497-2023-192-192-201
- Акратова Н. 2024. Aksiyadorlik jamiyatlarida korporativ madaniyatni rivojlantirish istiqbollari // *Iqtisodiy*

- Taraqqiyot va Tahlil*. V. 2. No. 12. P. 24-33. (На узбекском). DOI: 10.60078/2992-877X-2024-vol2-iss12-pp24-33
- Grennan J., Li K. 2022. Corporate Culture: A Review and Directions for Future Research // *SSRN Electronic Journal*. DOI: 10.2139/ssrn.4095565
- Gretchenko A.A., Petrova T.A., Rafeeva A.P. 2024. The role of corporate culture in the innovative activity of the organization // *Scientific and analytical journal Science and Practice of the Plekhanov Russian University of Economics*. V. 16. No. 1(53). P. 32-39.
- Groysberg B., Lee J., Price J., Cheng J. 2018. The Leader's Guide to Corporate Culture // *Harvard Business Review*. No. 1 (January-February). P. 44-52.
- Hryhorak, M. Yu, Leha V.O. 2020. Corporate culture reengineering strategy of a multinational logistics company // *Intellectualization of Logistics and Supply Chain Management*. No. 3(3). P. 18-28. DOI: 10.46783/smart-scm/2020-3-2

### REFERENCES

- Kozhakhmetova M.K., Alieva M.M., Madykhanova K.A. 2022. Corporate culture as an effective tool for organizations // *Central Asian Economic Review*. No. 4(145). P. 82-93. DOI: 10.52821/2789-4401-2022-4-82-93. (In Kazakh).
- Mezhuev V.M. 2006. The idea of culture. Essays on the philosophy of culture. Moscow: Progress-Tradition. 408 p. (In Russ.)
- Aquaculture development. 4. Ecosystem approach to aquaculture. 2013. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries. No. 5, Suppl. 4. Rome, FAO. 76 p.
- Russian Statistical Yearbook. 2021: Stat. book. Moscow: Rosstat. 692 p. (In Russ.)
- Russian Statistical Yearbook. 2024: Stat. book. Moscow: Rosstat. 630 p. (In Russ.)
- State of world fisheries and aquaculture. Opportunities and problems. 2014. Rome, FAO. 253 p.
- State of world fisheries and aquaculture – 2024. 2024. «Blue transformation» in action. Rome, FAO. 264 p. DOI: 10.4060/cd0683ru.
- Statistical information on the fishing industry of Russia. 2022. Moscow: VNIRO Publish. 86 p. (In Russ.)
- Statistical information on the fishing industry of Russia. 2023. Moscow: VNIRO Publish. 82 p. (In Russ.)
- Statistical information on the fishing industry of Russia. 2024. Moscow: VNIRO Publish. 84 p. (In Russ.)
- Yarkina N.N. 2019. Sustainable development and the «Blue Growth» initiative // *Bulletin of the Kerch State Maritime Technological University*. No. 3. P. 117-131. (In Russ.)
- Yarkina N.N., Logunova N.A. 2023. Sustainable development of the fishery complex of the Russian Federation: factors and tendencies // *Trudy VNIRO*. V. 192. P. 192-201. DOI: 10.36038/2307-3497-2023-192-192-201. (In Russ.)
- Akratova N. 2024. Aksiyadorlik jamiyatlarida korporativ madaniyatni rivojlantirish istiqbollari // *Iqtisodiy*

- Taraqqiyot va Tahlil. V. 2. No. 12. P. 24-33. (In Uzbek). DOI: 10.60078/2992-877X-2024-vol2-iss12-pp24-33
- Grennan J., Li K. 2022. Corporate Culture: A Review and Directions for Future Research // SSRN Electronic Journal. DOI: 10.2139/ssrn.4095565
- Gretchenko A.A., Petrova T.A., Ragozaeva A.P. 2024. The role of corporate culture in the innovative activity of the organization // Scientific and analytical journal Science and Practice of the Plekhanov Russian University of Economics. V. 16. No. 1(53). P. 32-39.
- Groysberg B., Lee J., Price J., Cheng J. 2018. The Leader's Guide to Corporate Culture // Harvard Business Review. No. 1 (January-February). P. 44-52.
- Hryhorak, M. Yu, Leha V.O. 2020. Corporate culture reengineering strategy of a multinational logistics company // Intellectualization of Logistics and Supply Chain Management. No. 3(3). P. 18-28. DOI: 10.46783/smart-scm/2020-3-2

*Поступила в редакцию 08.04.2025 г.*

*Принята после рецензии 15.08.2025 г.*

