

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)
Бимиш 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» («ПИНРО 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)
Крикун Е.А., профессор кафедры ихтиологии Биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, д.б.н., член-корреспондент РАН (Москва, Россия)
Кузичкин 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)
Лептиховский 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)
Лендьял П., начальник отдела развития аквакультуры, Министерство сельского хозяйства Венгрии (Сарваш, Венгрия)
Мизюркин М.А., гл. научный сотрудник, Тихоокеанский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), 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» («ТИНРО»), 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 30.12.2025 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
- Laptikhovskiy 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
- Politev 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

ПРОМЫСЛОВЫЕ ВИДЫ И ИХ БИОЛОГИЯ

<i>Мельник Д.Я., Овчеренко Р.Т.</i> Весенний ихтиопланктон Кроноцкого залива (п-ов Камчатка)	5
<i>Денисенко А.Д., Бугаева Е.А., Савенков В.В., Зикунова О.В., Пильганчук О.А., Муравская У.О., Бабушкин Д.В., Крупенева М.В., Шпигальская Н.Ю.</i> Генетическая идентификация молоди кеты бассейна Охотского моря в смешанных траловых уловах	15
<i>Лапшина А.Е., Зеленина Д.А., Колпаков Н.В.</i> Апробация метода видовой идентификации тихоокеанских лососей р. <i>Oncorhynchus</i> по микросателлитным маркерам на рыбной продукции промышленного производства	26
<i>Евсеева Н.В.</i> Особенности распределения эндемичных ламинариевых водорослей в прибрежной зоне Курильских островов	37

ВОДНЫЕ БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

<i>Матковский А.К.</i> Значение коэффициентов промыслового возврата в рыбохозяйственных исследованиях	44
--	----

АКВАКУЛЬТУРА

<i>Бурлаченко И.В., Барина В.В.</i> Оценка различных аспектов работы садковых хозяйств с позиций наилучших практик аквакультуры	57
<i>Терпугова Н.Ю., Бурлаченко И.В., Филиппова О.П., Зуевский С.Е., Попов В.В.</i> О влиянии обработок 17 α -метилтестостероном на характеристики крови, структуру внутренних органов и реверсию пола радужной форели	71
<i>Мюге Н.С., Шарко Ф.С.</i> Генотипирование радужной форели методом полногеномного секвенирования с низким покрытием (low-pass секвенирование, lpWGS) для целей геномной селекции.	85
<i>Рузина М.Н., Емельянова О.Р., Савельева С.Ю., Брускин С.А., Мюге Н.С.</i> Нокаут гена миостатина у карпа обыкновенного с помощью системы CRISPR/Cas9	95

СРЕДА ОБИТАНИЯ ВОДНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

<i>Панов Б.Н., Шляхов В.А., Спиридонова Е.О., Кочергин А.Т.</i> Об использовании показателей региональной атмосферной циркуляции для оценки особенностей миграции хамсы в северной половине Чёрного моря	103
<i>Шатилина Т.А., Цициашвили Г.Ш., Осипова М.А., Радченкова Т.В.</i> Особенности гидрометеорологических условий над Дальним Востоком в годы высокого и низкого возврата амурской горбуши четной генерации.	113

ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ВОДНЫХ БИОРЕСУРСОВ

<i>Сытова М.В., Терпугова Н.Ю.</i> Пищевая и биологическая ценность продукции из воibly.	129
--	-----

ЭКОНОМИКА, МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО И НОРМАТИВНЫЕ ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

<i>Аверкиев А.В.</i> Перспективы расширения отечественного рыболовства в Арктической зоне Российской Федерации	147
---	-----

ИНФОРМАЦИЯ

<i>Моисеев С.И., Моисеева С.А.</i> Мониторинг биологического состояния промысловых видов крабов в западной части Берингова моря весной 2025 г.	154
<i>Вилкова О.Ю., Жирков С.Н.</i> Биологическая характеристика улова сибирского осетра в нижнем течении реки Лена в районе острова Тит-Ары в июне 2025 г.	162

CONTENTS

COMMERCIAL SPECIES AND THEIR BIOLOGY

<i>D.Ya. Melnik, R.T. Ovcherenko</i> Spring ichthyoplankton of Kronotsky Bay (Kamchatka peninsula).....	5
<i>Denisenko A.D., Bugaeva E.A., Savenkov V.V., Zikunova O.V., Pilganchuk O.A., Muravskaia U.O., Babushkin D.V., Krupeneva M.V., Shpigalskaia N.Iu.</i> Genetic identification of juvenile chum salmon of the Okhotsk Sea basin in mixed trawl catches.....	15
<i>Lapshina A.E., Zelenina D.A., Kolpakov N.V.</i> Evaluating a method for identifying Pacific salmon of the genus <i>Oncorhynchus</i> using microsatellite markers in industrial fish products.....	26
<i>Evseeva N.V.</i> Features of the distribution of endemic laminarian algae in the coastal zone of the Kuril Islands.....	37

AQUATIC BIOLOGICAL RESOURCES

<i>Matkovskiy A.K.</i> Significance of commercial return coefficients in fisheries research.....	44
---	----

AQUACULTURE

<i>Burlachenko I.V., Barinova V.V.</i> Assessment of various aspects of work of cage fish farms from the perspective of best aquaculture practices.....	57
<i>Terpugova N.Y., Burlachenko I.V., Filippova O.P., Zuevskiy S.E., Popov V.V.</i> Effects of 17 α -methyltestosterone on blood parameters, visceral morphology, and sex reversal in rainbow trout.....	71
<i>Mugue N.S., Sharko F.S.</i> Genotyping of rainbow trout using low-pass whole-genome sequencing for genomic selection.....	85
<i>Ruzina M.N., Emelianova O.R., Saveleva S.Yu., Bruskin S.A., Mugue N.S.</i> CRISPR/Cas9-knockout of the myostatin gene in common carp.....	95

HABITAT OF AQUATIC BIOLOGICAL RESOURCES

<i>Panov B.N., Shlyakhov V.A., Spiridonova E.O., Kochergin A.T.</i> The influence of regional atmospheric circulation on the migration of anchovy in the northern half of the Black Sea.....	103
<i>Shatilina T.A., Tsitsiashvili G.Sh., Osipova M.A., Radchenkova T.V.</i> Features of hydrometeorological conditions over the Far East during the years of high and low runs of Amur pink salmon of even-numbered generation.....	113

AQUATIC BIORESOURCES PROCESSING TECHNOLOGIES

<i>Sytova M.V., Terpugova N.Yu.</i> Food and biological value of products from Caspian roach.....	129
--	-----

ECONOMICS, INTERNATIONAL COOPERATION AND REGULATORY BASES OF FISHERIES MANAGEMENT

<i>Averkiev A.V.</i> Prospects for Expanding Domestic Fisheries in the Russian Arctic.....	147
---	-----

INFORMATION

<i>Moiseev S.I., Moiseeva S.A.</i> Monitoring the biological status of commercial crab species in the western Bering Sea in spring 2025.....	154
<i>Vilkova O.Yu., Zhirkov S.N.</i> Biological characteristics of the Siberian sturgeon catch in the lower reaches of the Lena River near Tit-Ary Island in June 2025.....	162



УДК 591.524.12(265.52)

Промысловые виды и их биология

Весенний иктиопланктон Кроноцкого залива (п-ов Камчатка)

Д.Я. Мельник, Р.Т. Овчеренко

Камчатский филиал ГНЦ РФ ФГБУ «ВНИРО» («КамчатНИРО»), ул. Набережная, 18, г. Петропавловск-Камчатский, 683000

E-mail: d.saushkina@kamniro.vniro.ru

SPIN-код: Д.Я. Мельник – 4059-2130; Р.Т. Овчеренко – 3700-8580

Цель: анализ видового разнообразия и количественного состава икры и личинок рыб, а также особенностей пространственного распределения наиболее массовых представителей весеннего иктиопланктона в Кроноцком заливе.

Методы: стандартная методика проведения иктиопланктонных съёмок с дальнейшей камеральной обработкой материала.

Новизна: представлены новые сведения по видовому составу и пространственному распределению наиболее часто встречающихся видов иктиопланктона Кроноцкого залива в период 2004-2022 гг.

Результаты: в иктиопланктонных сборах отмечены икра и личинки 36 видов рыб. Доминирующими компонентами были икра минтая *Gadus chalcogrammus* и четырёхбугорчатой камбалы *Pleuronectes quadrituberculatus*, а также личинки шлемоносных бычков рода *Gymnocanthus*. Показано их пространственное распределение в зависимости от типизации лет («тёплый», «холодный» и «нормальный»).

Практическая значимость: сведения о пространственном распределении в период раннего онтогенеза промысловых видов рыб позволят повысить надёжность прогнозирования их запасов.

Ключевые слова: иктиопланктон, икра, личинки, видовой состав, распределение, Кроноцкий залив.

Spring ichthyoplankton of Kronotsky Bay (Kamchatka peninsula)

Darya Ya. Melnik, Rinata T. Ovcharenko

Kamchatka branch of «VNIRO» («KamchatNIRO»), 18, Naberezhnaya st., Petropavlovsk Kamchatsky, 683000, Russia

Purpose: analysis of the species diversity and quantitative composition of fish eggs and larvae, as well as the features of the spatial distribution of the most abundant representatives of spring ichthyoplankton in Kronotsky Bay.

Methods: standard methodology for conducting ichthyoplankton surveys with subsequent office processing of the material.

Novelty: new information on the species composition and spatial distribution of the most frequently occurring species in the ichthyoplankton of Kronotsky Bay is presented for the period 2004-2022.

Result: the eggs and larvae of 36 fish species were recorded in ichthyoplankton samples. The dominant components were the eggs of the pollock *Gadus chalcogrammus* and the lemon sole *Pleuronectes quadrituberculatus*, as well as the larvae of the sculpines of the genus *Gymnocanthus*. Their spatial distribution is shown depending on the classification of years («warm», «cold», and «normal»).

Practical significance: information on the spatial distribution of commercial fish species during the early ontogenesis period will improve the reliability of forecasting their stocks.

Keywords: ichthyoplankton, fish eggs, larvae, species composition, distribution, Kronotsky bay.

ВВЕДЕНИЕ

История исследования иктиопланктона тихоокеанских вод Камчатки начинается с 1950-х гг. с экспедиций Института океанологии Академии наук СССР, ВНИРО и ТИНРО. Первоначально иктиопланктонные съёмки были ориентированы на изучение ранних этапов онтогенеза различных представителей иктиофауны, а также на обнаружение нерестовых скоплений промысловых видов рыб [Расс, 1965]. Впоследствии накопленные сведения стали применять для оценки нерестовых запасов некоторых объектов промысла [Качина, Сергеева, 1978]. Кроме этого, данные иктиопланктонных съёмок стали использовать для выясне-

ния особенностей нереста пелагофильных видов рыб. Результаты обловов икры и личинок с параллельным сбором гидрологических данных у тихоокеанского побережья Камчатки в весенний период стали основой для исследования главных черт репродуктивной биологии основного объекта промысла в дальневосточных морях – минтая *Gadus chalcogrammus* [Балыкин, Тепнин, 1998; Буслов и др., 2006; Сергеева, 2019].

Опубликованные материалы [Саушкина, 2013; Саушкина, Курбанов, 2020; Овчеренко, Саушкина, 2021; Мухаметов и др., 2022] расширили представление об особенностях размножения и распределения на ранних этапах онтогенеза и других видов рыб у тихоокеанского побережья Камчатки. Вместе с тем, имею-

щиеся литературные сведения [Перцева-Остроумова, 1961; Саушкина, 2022 а, б; Варкентин, Саушкина, 2022] о видовом составе ихтиопланктона, его количественных показателях и пространственном распределении икры и личинок в Кроноцком заливе фрагментарны, а по многим видам отсутствуют. Таким образом, целью настоящего исследования является анализ видового разнообразия и количественного состава икры и личинок рыб, а также особенностей пространственного распределения наиболее массовых представителей весеннего ихтиопланктона в Кроноцком заливе.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

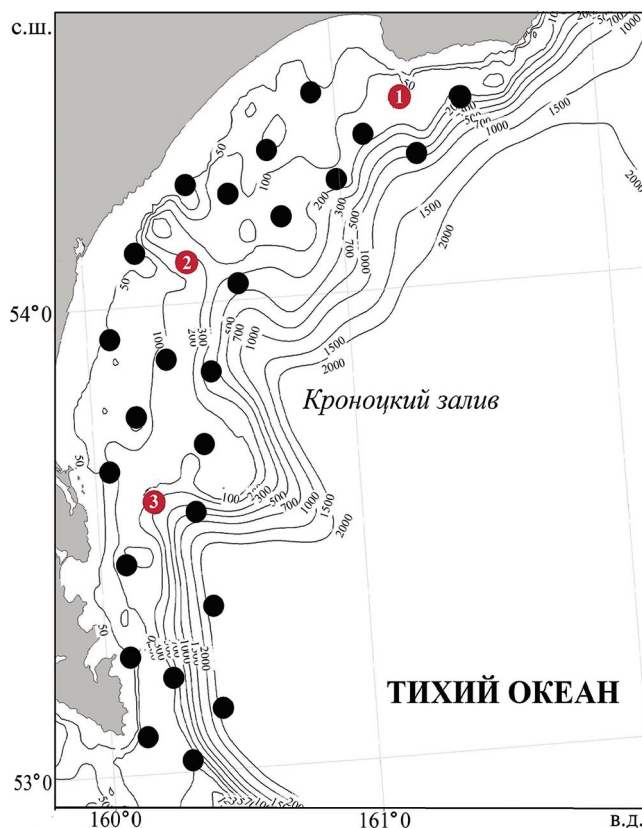
Работа основана на материалах, полученных в результате 14 ихтиопланктонных съёмок, выполненных в Кроноцком заливе в апреле–мае 2004-2022 гг. (табл. 1). В силу различных причин (метеорологических, технических и др.) учётные работы в районе исследования в 2008-2009, 2012, и 2014-2015 гг. не выполняли.

Таблица 1. Сведения о сроках и количестве станций ихтиопланктонных съёмок в Кроноцком заливе

Table 1. Information on the timing and number of ichthyoplankton survey stations in Kronotsky Bay

Год	Сроки съёмки	Количество станций
2004	19.04-21.04	27
2005	18.04-24.04	27
2006	07.05-09.05	28
2007	17.04-19.04	28
2010	27.04-28.04	28
2011	17.04-23.04	28
2013	05.05-07.05	23
2016	04.05-07.05	28
2017	01.05-03.05	25
2018	11.04-02.05	29
2019	15.04-30.04	28
2020	29.04-01.05	28
2021	06.05-07.05	28
2022	16.04-27.04	28

Обловы производили по стандартной сетке станций (рис. 1). На каждой контрольной точке судно ложилось в дрейф рабочим бортом на ветер. Отбор проб осуществляли икорной конической сетью (ИКС-80) диаметром 80 см и площадью входного отверстия 0,5 м². Вертикальные тотальные обловы во все годы проводили от дна до поверхности, а в районе верхней части материкового склона горизонт лова не превышал 550-0 м. Ихтиопланктон фиксировали в 4%-ном формалине для последующей камеральной обработки



дов рыб из 13 семейств. Из них 22 идентифицировано до вида, 9 – до рода и 5 – до семейства (табл. 2). Наибольшее число семейств и видов были представлены двумя отрядами: скорпенообразными Scorpaeniformes (4 и 8) и окунеобразными Perciformes (3 и 2), на долю которых соответственно приходилось 53,8% семейств и 45,5% видов. Преобладали (по числу видов) представители семейств камбаловые Pleuronectidae (5 видов) и морские окуни Sebastidae (3). В остальных семействах насчитывалось от 1 до 2 видов. В целом, в составе иктиопланктонного комплекса преобладали виды, относящиеся к элиторальной группировке, в зоогеографическом плане – широкобореальные тихоокеанские.

В разные годы основу уловов икры формировали от 2 (2007 г.) до 5 (2006 г.) видов. Ежегодно в пробах преобладали икринки минтая и четырёхбугорчатой камбалы *Pleuronectes quadrituberculatus* (табл. 2). В 13 из 14 рассматриваемых съёмок были обнаружены икринки макруросов рода *Coryphaenoides* и узкозубой палтусовидной камбалы *Hippoglossoides elassodon*, реже – звёздчатой *Platichthys stellatus* и желтопёрой *Limanda aspera* (в 5 и 2 съёмках соответственно).

Качественный состав личинок был изменчив и отличался сравнительно большим разнообразием, включая в себя 32 таксона. Так, в разные годы число видов в съёмках изменялось от 3 (2011 г.) до 14 (2018 г.) (см. табл. 2). Практически ежегодно в пробах встречались бычки шлемоносцы (*Gymnocanthus* spp.) и дальневосточная серебрянка *Leuroglossus schmidti*. Кроме того, в большинстве случаев в иктиопланктоне были обнаружены личинки тихоокеанской песчанки *Ammodytes hexapterus*, крапчатого морского окуня *Sebastes melanostictus* и минтая. Эпизодически были отмечены виды из семейств рогатковые (керчаки *Myoxocephalus* spp., керчак-яок *M. jaok*, мраморный керчак *M. stelleri*), липаровые (пелагический морской слизень *Nectoliparis pelagicus*, паралипари-сы *Paraliparis* spp., липарисы *Liparis* spp.), лисичковые (осетровая *Podothecus accipenserinus* и чернопёрая *Bathyagonus nigripinnis* лисички), камбаловые (стрелозубые палтусы *Atheresthes* spp., северная двухлинейная *Lepidopsetta polyxystra* и узкозубая палтусовидная камбалы), стихеевые (тихоокеанский пятнистый люмпен *Leptoclinus maculatus* и другие неидентифицированные особи), а также морские окуни (тихоокеанский клювач *S. alutus*, северный морской окунь *S. borealis* и другие неидентифицированные особи).

Выявить какие-то многолетние изменения в видовом составе иктиопланктона Кроноцкого залива не представляется возможным, так как имеющиеся в литературных источниках сведения содержат лишь информацию об икре массовых промысловых видов

[Перцева-Остроумова, 1961; Сергеева, 2019; Варкентин, Саушкина, 2022]. Однако видовой состав иктиопланктона в Кроноцком заливе незначительно отличался от такового в Авачинском заливе и тихоокеанских водах у северных Курильских островов. В этих акваториях в уловах встречено от 26 до 34 таксонов [Буслов и др., 2006; Мухаметов и др., 2022] против 36 в Кроноцком заливе (см. табл. 2). Вместе с тем, в наших сборах впервые были отмечены единичные находки личинок из семейств светящиеся анчоусы (Myctophidae) и хаулиодовые (Chauliodontidae).

Частота встречаемости и динамика уловов. Тихоокеанские воды Камчатки (включая Кроноцкий залив) являются основным районом размножения восточнокамчатской популяции минтая [Буслов, 2008], на учёт которого и были направлены иктиопланктонные съёмки. В связи с этим, неудивительно, что в межгодовом аспекте этот вид по численности доминировал на всей акватории Кроноцкого залива. Частота встречаемости минтая варьировала в пределах 36-100%, а средний улов изменялся от 6,2 до 610,0 экз./лов (табл. 2). Данный факт обусловлен периодом его массового нереста, который приходится на вторую половину апреля [Буслов и др., 2006; Сергеева, 2019].

Помимо минтая в уловах традиционно присутствовала икра четырёхбугорчатой камбалы. Взрослые особи этого вида обитают в Кроноцком заливе повсеместно, образуя плотные скопления на отдельных его участках [Овчеренко, 2024]. Икрометание камбалы в районе исследования происходит с апреля по июнь, а разгар приходится на вторую половину апреля – первую половину мая [Перцева-Остроумова, 1961; Овчеренко, Саушкина, 2021]. В связи с этим частота встречаемости икры в ходе съёмок была достаточно высокой и изменялась от 24,0 до 75,0%, а средний улов во все исследуемые годы варьировал от 0,8 до 7,6 экз./лов (табл. 2).

Также довольно обычной (до 57,1%) в пробах была икра узкозубой палтусовидной камбалы. В ходе наших исследований она была встречена на всей исследуемой акватории. Но из-за того, что съёмки выполнены преимущественно до начала пика нереста этого вида (первая половина мая) [Перцева-Остроумова, 1961], икра отмечена в пробах реже, чем, например, таковая четырёхбугорчатой камбалы (в среднем 28,4% против 53,8%). Улов варьировал в пределах 1-18 экз./лов (см. табл. 2).

Икринки макруросов присутствовали в планктоне во все годы, но частота их встречаемости была низкой (3,7-21,4%). Скорее всего, это связано с тем, что нерест данной группы происходит на глубинах свыше 600 м [Токранов и др., 2005], т. е. за пределами акватории выполнения

Таблица 2. Видовой состав, межгодовая динамика уловов (экз./лов) и частота встречаемости икры и личинок рыб в Кроноцком заливе в весенний период 2004-2022 гг.

Table 2. Species composition, interannual dynamics of catch sizes (specimens/catch) and frequency of occurrence of the fishes eggs and larvae in Kronotsky Bay in the spring period 2004-2022

Вид	Годы													
	2004	2005	2006	2007	2010	2011	2013	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
ИКРА														
Макрурусы <i>Coryphaenoides</i> spp.	1 0,04(4)	1-3 0,2(11)	1-6 0,4(11)	-	1-10 0,5(14)	1-2 0,1(7)	5 0,2(4)	1-6 0,06(18)	1 0,08(8)	1-8 0,7(17)	1-6 0,6(21)	2-6 0,5(12)	1-4 0,5(18)	1-4 0,4(14)
Минтай <i>Gadus chalcogrammus</i> Pallas, 1814	2-8743 357,4(85,2)	2-12420 488,2(96)	3-1267 187,8(93)	2-3743 267,8(86)	1-3250 444,2(96)	1-855 160,3(89)	1-1313 229,3(96)	1-114 36,5(96)	1-84 6,2(36)	2-1252 115,9(93)	19-1278 296,9(100)	1-87 15,6(91)	2-197 54,9(96)	2-5000 610,0(100)
Четырёхбугорчатая камбала <i>Pleuronectes quadrituberculatus</i> Pallas, 1814	1-16 2,5(59)	1-34 3,3(59)	1-42 5,8(68)	1-24 1,7(25)	1-33 5,0(39)	1-76 6,0(50)	1-11 0,8(30)	1-37 6,8(75)	1-17 1,1(24)	1-11 2,9(69)	1-33 5,5(71)	1-19 3,5(55)	1-43 6,7(71)	1-44 7,6(57)
Узкозубая палтусовидная камбала <i>Hippoglossoides elassodon</i> Jordan et Gilbert, 1880	1 0,04(4)	1 0,07(7)	1-10 1,9(57)	-	1-7 0,5(25)	1-7 0,7(32)	1-9 1,0(35)	1-14 2,5(54)	1-2 0,1(8)	1-12 0,9(31)	1-9 1,4(50)	1-17 0,7(27)	1-18 3,8(57)	1-3 0,2(11)
Звёздчатая камбала <i>Platichthys stellatus</i> (Pallas, 1787)	-	-	1-3 0,2(14)	-	1-12 0,6(11)	1 0,04(4)	-	-	-	-	1 0,04(4)	-	1-8 0,4(11)	-
Желтоперая камбала <i>Limanda aspera</i> (Pallas, 1814)	-	-	2 0,07(4)	-	-	-	-	-	1 0,04(4)	-	-	-	-	-
ЛИЧИНКИ														
Дальневосточная серебрянка <i>Leuroglossus schmidti</i> Rass, 1955	1 0,04(4)	1 0,04(4)	1 0,07(7)	1 0,04(4)	-	-	2 0,09(4)	1 0,1(14)	1 0,04(4)	1 0,2(21)	1-4 0,5(21)	1 0,9(12)	2-3 0,3(14)	1-2 0,1(7)
Тихоокеанский батилга <i>Bathylagus pacificus</i> Gilbert, 1890	-	-	1 0,04(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 0,04(4)	-
Тихоокеанский хаулиод <i>Chauliodus macouini</i> Bean, 1890	-	-	-	-	-	-	1 0,04(4)	-	-	-	-	-	-	-
Диаф-тета <i>Diaphus theta</i> Eigenmann et Eigenmann, 1890	-	-	-	-	1 0,04(4)	-	-	-	-	-	-	1 0,03(3)	-	-
Светлопёрый стенобрах <i>Stenobranchius leucopsarus</i> (Eigenmann et Eigenmann, 1890)	1 0,04(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Светящиеся анчоусы Mystophidae gen. sp.	-	-	-	1 0,04(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Чёрный макрурус <i>Coryphaenoides acrolepis</i> (Bean, 1884)	-	-	-	-	1 0,04(4)	-	-	-	-	1 0,03(3)	-	-	1 0,04(4)	-
Долгохвостовые Macrouridae gen. sp.	-	1 0,04(4)	-	-	1 0,04(4)	-	-	-	-	-	-	1 0,03(3)	-	-
<i>G. chalcogrammus</i>	1 0,04(4)	-	1-4 0,3(14)	-	1 0,04(4)	-	-	1 0,07(7)	-	1-3 0,3(24)	1-2 0,2(18)	1 0,06(6)	1 0,2(18)	-
Крапчатый морской окунь <i>Sebastes melanostictus</i> (Matsubara, 1934)	1-2 0,1(7)	-	1-4 0,2(7)	1-6 0,3(7)	-	-	1-3 0,3(17)	-	-	1-5 0,3(10)	-	1-6 0,3(15)	1-6 0,6(18)	1-3 0,3(14)
Тихоокеанский ключач <i>S. alutus</i> (Gilbert, 1890)	-	-	-	-	-	-	2 0,09(4)	-	-	2-3 0,2(7)	-	-	-	-
Северный морской окунь <i>S. borealis</i> Barsukov, 1970	-	-	3 0,1(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Морские окуни Sebastidae gen. sp.	-	-	1 0,04(4)	-	-	-	-	1-9 6,5(14)	1-2 0,1(8)	-	-	-	-	-
Шлемоносцы <i>Gymnoscopus</i> spp.	1-13 1,8(56)	1 0,04(4)	1-9 1,1(32)	-	1 0,07(7)	2 0,07(4)	3 0,1(4)	1-3 0,5(32)	3-8 0,6(12)	1-7 1(45)	1-50 3,3(32)	1-20 2,0(36)	1-56 3,9(46)	1,3 3,3(50)
Керчаки <i>Muchocephalus</i> spp.	1 0,04(4)	1-2 2,6(19)	1 0,1(14)	2-9 0,6(14)	1 0,04(4)	-	-	-	-	1-2 0,1(10)	-	1 0,1(12)	1-5 0,6(29)	-
Керчак яок <i>M. jaok</i> (Cuvier, 1829)	1 0,04(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Вид	Годы													
	2004	2005	2006	2007	2010	2011	2013	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Мраморный керчак <i>M. stelleri</i> Tilesius, 1811	$\frac{1}{0,07(7)}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Осетровая лисичка <i>Podothecus accipenserinus</i> Tilesius, 1813	-	-	-	-	-	-	-	-	-	$\frac{1-2}{0,1(7)}$	-	-	-	-
Чернопёрая лисичка <i>Bathyagonus nigripinnis</i> Gilbert, 1890	-	-	-	-	-	-	-	$\frac{1}{0,04(4)}$	-	-	-	-	-	-
Лисичковые <i>Agonidae</i> gen. sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	$\frac{2}{0,07(5)}$	-	-	-	-
Пелагический морской слизень <i>Nectoliparis pelagicus</i> Gilbert et Burke, 1912	-	-	-	$\frac{1}{0,04(4)}$	$\frac{1}{0,04(4)}$	-	$\frac{1}{0,04(4)}$	$\frac{1}{0,04(4)}$	-	$\frac{1-3}{0,1(7)}$	-	-	-	-
<i>Liparis</i> cf. <i>latifrons</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	$\frac{1}{0,03(3)}$	-	-	$\frac{1}{0,1(11)}$	$\frac{2}{0,07(4)}$
<i>L.</i> cf. <i>ochotensis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	$\frac{1}{0,03(3)}$	-	-	-	-
Липарисы <i>Liparis</i> spp.	$\frac{1-2}{0,1(7)}$	-	$\frac{1}{0,04(4)}$	-	-	$\frac{2}{0,07(4)}$	-	$\frac{1}{0,07(7)}$	-	-	-	-	-	-
Паралипарисы <i>Paraliparis</i> spp.	-	$\frac{1}{0,04(4)}$	-	-	$\frac{1}{0,04(4)}$	$\frac{1}{0,04(4)}$	-	-	-	-	-	-	-	-
Ликодоноги <i>Lycodapus</i> spp.	-	-	$\frac{2-3}{0,2(7)}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Тихоокеанский пятнистый люмпен <i>Leptoclinus maculatus</i> (Fries, 1838)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	$\frac{1}{0,04(4)}$	-	-	-
Стихеевые <i>Stichaeidae</i> gen. sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	$\frac{1}{0,03(3)}$	-	-	-	-
Тихоокеанская песчанка <i>Ammodytes hexapterus</i> Pallas, 1814	$\frac{1}{0,1(15)}$	-	$\frac{1-6}{0,4(14)}$	-	-	-	$\frac{1}{0,09(9)}$	$\frac{3}{0,1(4)}$	$\frac{2}{8,0(8)}$	$\frac{1-5}{0,3(10)}$	$\frac{1}{0,04(4)}$	$\frac{4}{6,1(6,1)}$	$\frac{1-36}{2,4(32)}$	$\frac{1-5}{0,4(14)}$
Северная двухлинейная камбала <i>Lepidopsetta polyxystra</i> Orr et Matarese, 2000	$\frac{1}{0,04(4)}$	-	$\frac{1}{0,07(7)}$	-	-	-	-	$\frac{1}{0,04(4)}$	$\frac{1}{4,0(4)}$	-	$\frac{1}{0,04(4)}$	$\frac{2}{3,0(3)}$	-	-
<i>H. elassodon</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	$\frac{1}{4,0(4)}$	-	-	-	-	-
Стрелозубые палтусы <i>Atheresthes</i> spp.	-	-	-	-	-	-	-	$\frac{1}{0,04(4)}$	-	-	-	-	-	-

Примечание. В числителе минимум и максимум, в знаменателе – среднее (экз./ лов), в скобках – частота встречаемости, %. Годы по тепло-содержанию вод: □ – «тёплый», □ – «холодный», □ – «нормальный», □ – нет данных.

съёмов. Следовательно, обнаружение немногочисленных икринок является следствием их выноса течениями.

Как было отмечено выше, видовой состав личинок был разнообразнее, чем икры (32 против 6 таксонов). Среди них в уловах ежегодно доминировали шлемоносцы. Их частота встречаемости изменялась от 3,6 до 55,6%, а средний улов колебался в пределах 0,04-3,9 экз./лов (см. табл. 2, 3).

Таким образом, в ихтиопланктоне Кроноцкого залива регулярно присутствовали и были многочисленными икринки минтая и четырёхбугорчатой камбалы, среди личинок – шлемоносцы.

Пространственное распределение массовых видов. Важной особенностью биологии минтая является на-

личие у него двух типов нереста: шельфового и глубоководного [Варкентин, Саушкина, 2022]. В отличие от других популяций этого вида, для которых характерно воспроизводство на шельфе, основной вклад в репродуктивный потенциал восточнокамчатской группировки вносит глубоководный нерест [Буслов и др., 2004]. Так, глубоководные каньоны Кроноцкого залива являются одними из основных центров его воспроизводства [Буслов, 2008]. Подобная специфичность не случайна и носит адаптивный характер. Икрометание здесь протекает ниже холодного промежуточного слоя при температуре воды выше 2,5 °С [Буслов, Тепнин, 2002; Варкентин и др., 2024].

Предварительный анализ показал, что по годам в широтно-меридиональном распределении икры минтая отсутствуют какие-либо существенные различия. Однако некоторые изменения можно наблюдать в зависимости от типизации лет. Так, в «тёплые» годы (см. табл. 2) икра распределялась неравномерно, а наиболее плотное скопление располагалось в районе Кроноцкого каньона (рис. 2 А). Максимальный показатель средней плотности икры на единицу площади составил 5356 экз./м². Другое менее значительное скопление (2570 экз./м²) находилось южнее – в районе небольшого каньона Жупановский.

В «холодные» годы основное нерестилище также, как и в «тёплые», располагалось в районе Кроноцкого каньона, однако максимальный показатель средней плотности икры оказался ниже, достигая 1231 экз./м². В целом на значительной части исследуемой акватории относительная численность икры не превышала 500 экз./м² (рис. 2 Б).

За весь рассматриваемый отрезок лет предельное значение средней плотности распределения (12784 экз./м²) икринок отмечено в «нормальные» годы в Кроноцком каньоне. Второе нерестилище по количеству икры оказалось сопоставимо с таковым в «тёплые» годы и достигало 2583 экз./м² (рис. 2 В).

Характерно, что в «тёплые» и «нормальные» годы площадь распространения икры в северной части Кроноцкого залива, в районе долины Ольга, была существенно меньше, чем в «холодные», а плотность скоплений, наоборот, больше. Так, в первом случае обилие икры в среднем не превышало 500 экз./м²,

тогда как во втором – 100 экз./м² (см. рис. 2). Снижение плотности икры в «холодные» годы, по нашему мнению, объясняется организационными причинами, т. к. иктиопланктонные съёмки были выполнены после пика нереста минтая, который наблюдается в мае. Отчасти этим же и обусловлена большая площадь её распространения в силу того, что к концу весны она разносится под действием движения водных масс.

Таким образом, участки основных скоплений икры минтая неизменны – основная масса располагается в центральной и южной частях залива. В первом районе высокая плотность икры обусловлена нерестом минтая в глубоководном каньоне, откуда она впоследствии выносится в шельфовую область. В пределах Жупановского каньона существенное обилие икры, вероятно, можно объяснить наличием круговоротов (завихрений) различного масштаба, образующихся вследствие сложной линии материкового склона и проходящего вдоль полуострова Камчатского течения, особенно – в районах сильно выступающих мысов.

По имеющимся данным, в уловах после минтая преобладала икра четырёхбугорчатой камбалы, которая наблюдалась на всей акватории Кроноцкого залива. Примечательно, что широтно-меридиональное распределение икры этого вида имело практически аналогичный с минтаем характер. Например, в «тёплые» и «нормальные» годы (см. табл. 2) участки основных скоплений совпадали – наибольшее обилие (до 50-53 экз./м²) отмечено в северной части залива. Напротив, в «холодные» годы плотность распределения оказалась меньше, а максимальный показатель

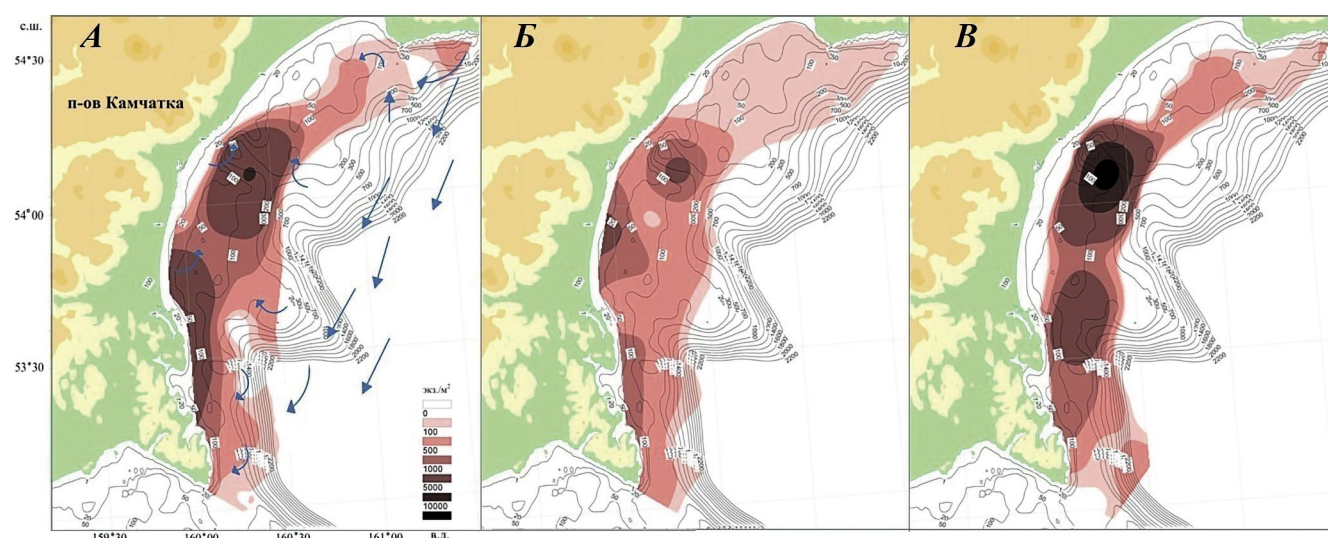


Рис. 2. Распределение икры минтая в Кроноцком заливе в «тёплые» (А), «холодные» (Б) и «нормальные» (В) годы.

→ – циркуляция вод [по: Гамутилов, 1959]

Fig. 2. Distribution of pollock eggs in Kronotsky Bay in «warm» (A), «cold» (B) and «normal» (B) years.

→ – water circulation [by Gamutilov, 1959]

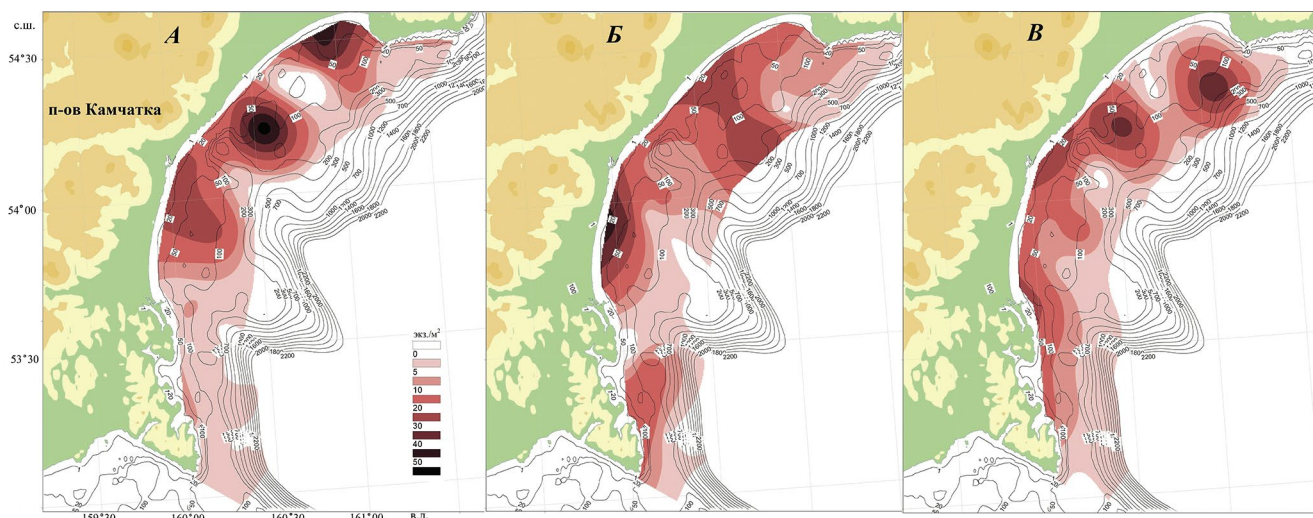


Рис. 3. Распределение икры четырёхбугорчатой камбалы в Кроноцком заливе в «тёплые» (А), «холодные» (Б) и «нормальные» (В) годы

Fig. 3. Distribution of lemon sole eggs in Kronotsky Bay in «warm» (A), «cold» (B) and «normal» (B) years

зафиксирован в центральной части обследованного района в пределах мелководной зоны, достигая 31 экз./м³ (рис. 3). При этом во все годы икра была распределена не только в пределах шельфа, но и над глубоководными районами. По данным Фадеева [1986], удельный вес пелагической икры камбал близок к плотности морской воды. Результаты экспериментов показали, что при определённых условиях (резкие температурные изменения или механическое воздействие) она опускается глубже. Согласно сведениям упомянутого автора, икринки четырёхбугорчатой камбалы при движении водных масс могут распределяться над глубинами 150-200 м. Следовательно, этим и можно объяснить факт наличия икры

этого вида на более глубоких участках Кроноцкого залива.

Как уже было отмечено нами выше, среди личинок в иктиопланктонных пробах доминировали шлемоносцы. Всего в тихоокеанских водах Камчатки обитают 3 вида рода *Gymnocanthus*: широколобый *G. detrisus*, узколобый *G. galeatus* и нитчатый *G. pistilliger*, распространение которых в преднерестовый период имеет сходный характер. Однако определить видовую принадлежность пойманных личинок не представляется возможным ввиду значительного сходства меристических признаков особей на ранних стадиях онтогенеза. В связи с тем, что пик нереста вышеуказанных видов приходится на декабрь-январь [Токранов, 2009],

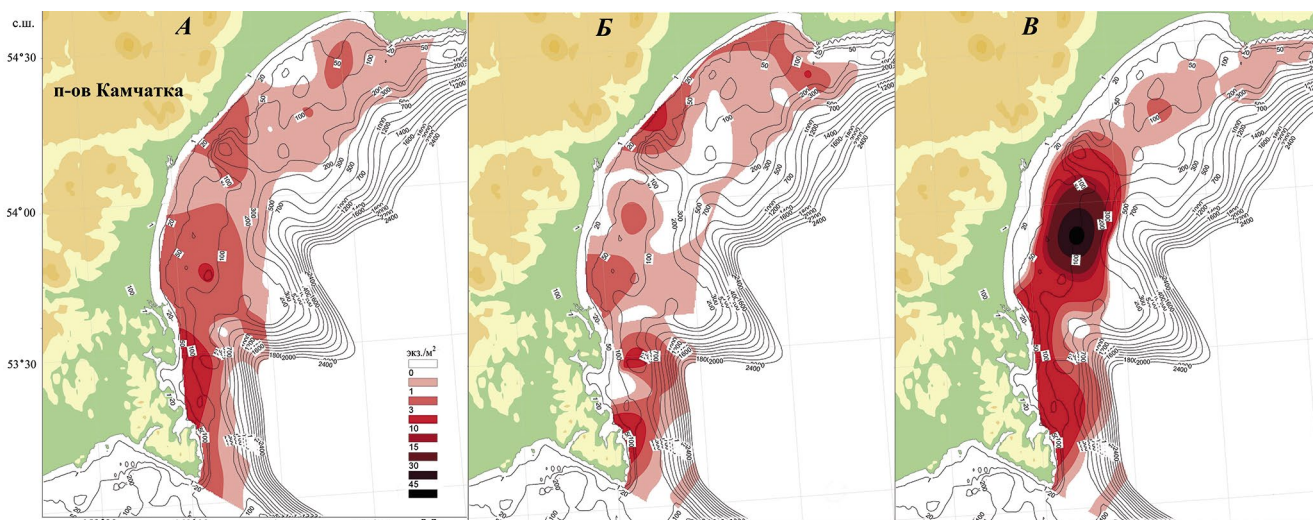


Рис. 4. Распределение личинок шлемоносцев в Кроноцком заливе в «тёплые» (А), «холодные» (Б) и «нормальные» (В) годы

Fig. 4. Distribution of *Gymnocanthus* larvae in Kronotsky Bay in «warm» (A), «cold» (B) and «normal» (B) years

их икра в весенних ихтиопланктонных сборах отсутствует.

Личинки шлемоносцев встречались практически по всей акватории Кроноцкого залива. В «тёплые» и «холодные» годы их распределение имело мозаичный характер (рис. 4 А, 4 Б). Основную площадь залива занимали скопления средней плотности до 10 экз./м². Однако в «нормальные» годы относительное обилие личинок оказалось существенно выше, достигая на глубинах 100-150 м между каньонами Жупановский и Кроноцкий 50 экз./м² (рис. 4 В). Следует отметить, что, например, нерест наиболее массового широколобного шлемоносца *G. detrisus* протекает в диапазоне 120-160 м [Токранов, 1988]. Следовательно, исходя из представленных данных, можно прийти к заключению, что развитие личинок шлемоносных бычков происходит на этих же глубинах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По данным учётных съёмок 2004-2022 гг. в весеннем ихтиопланктоне Кроноцкого залива наблюдалась икра и личинки 36 видов рыб. Типичными представителями ихтиопланктона являются рыбы, массовый нерест которых протекает в весеннее время (например, минтай, четырёхбугорчатая и узкозубая палтусовидная камбалы). Вместе с тем, весной встречаются личинки нерестящихся зимой шлемоносцев, а также глубоководных рыб (крапчатый морской окунь, тихоокеанский хаулиод, черный макрурус и др.), чьи сроки нереста в данном районе до сих пор неизвестны.

Основные концентрации икры минтая в «тёплые» и «нормальные» годы располагались в центральной и южной частях залива над глубоководными каньонами Кроноцкий и Жупановский, где достигали высоких плотностей. Наибольшие скопления икринок четырёхбугорчатой камбалы в эти же по теплосодержанию годы распределялись в северной и центральной частях Кроноцкого залива. Личинки шлемоносцев встречались повсеместно, распределяясь в южном направлении, а наибольшие уловы зафиксированы в «нормальные» годы на центральном участке залива. Помимо температурных условий обитания, на формирование скоплений рыб на ранней стадии онтогенеза воздействуют и другие не менее важные факторы (система круговоротов вод, экология нереста и др.). На количественные показатели, в нашем случае, влияют и сроки проведения ихтиопланктонных съёмок, которые охватывают лишь часть нерестового периода.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

Финансирование

Работа выполнена в рамках госзадания Камчатского филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («КамчатНИРО»).

ЛИТЕРАТУРА

- Балыкин П.А., Тепнин О.Б. 1998. Динамика вод и нерест минтая *Theragra chalcogramma* у восточной Камчатки // Исследования биологии и динамики численности промысловых рыб Камчатского шельфа. № 4. С. 7-14.
- Буслов А.В. 2008. Минтай восточного побережья Камчатки: современное состояние запасов и рекомендации по рациональной эксплуатации // Известия ТИНРО. Т. 152. С. 3-17.
- Буслов А.В., Тепнин О.Б. 2002. Условия нереста и эмбриогенеза минтая *Theragra chalcogramma* (Gadidae) в глубоководных каньонах тихоокеанского побережья Камчатки // Вопросы ихтиологии. Т. 42, № 5. С. 617-625.
- Буслов А.В., Тепнин О.Б., Дубинина А.Ю. 2006. Весенний ихтиопланктон в районе глубоководных каньонов Авачинского залива (восточная Камчатка) // Известия ТИНРО. Т. 144. С. 226-246.
- Варкентин А.И., Саушкина Д.Я. 2022. О некоторых вопросах воспроизводства минтая в тихоокеанских водах, прилегающих к Камчатке и северным Курильским островам в 2013-2022 гг. // Труды ВНИРО. Т. 189. С. 105-119.
- Варкентин А.И., Тепнин О.Б., Саушкина Д.Я., Зимин А.В., Свергун Е.И. 2024. Урожайность поколений восточнокамчатского минтая и некоторые причины, её обуславливающие // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей. Мат. XXV Всерос. науч. конф., посвящённой 130-летию со дня рождения Г.У. Линдберга. Петропавловск-Камчатский-М.: Изд-во Центра охраны дикой природы. С. 206-212.
- Гамутилов А.Е. 1959. Гидрологическая характеристика вод Кроноцкого залива // Труды ИОАН СССР. Т. 36. С. 40-59.
- Григорьев С.С. 2007. Ранние стадии рыб северо-востока России (прибрежные морские воды и внутренние водоёмы. / А.М. Токранов ред. Владивосток: ДВО КФТИГ. 331 с.
- Качина Т.Ф., Сергеева Н.П. 1978. Методика расчёта нерестового запаса восточноокеанского минтая // Рыбное хозяйство. № 12. С. 13-14.
- Мухаметов И.Н., Мухаметова О.Н., Частиков В.Н. 2022. Весенний ихтиопланктон тихоокеанских вод северных Курильских островов // Труды ВНИРО. Т. 190. С. 62-78.
- Овчеренко Р.Т. 2024. Промысловые дальневосточные камбалы (Pleuronectidae) тихоокеанских вод Камчатки: биология и запасы. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: ВНИРО. 24 с.
- Овчеренко Р.Т., Саушкина Д.Я. 2021. Распределение икры и рыб четырёхбугорчатой *Pleuronectes quadrituberculatus*

- и узкозубой палтусовидной *Hippoglossoides elassodon* камбал (Pleuronectidae) в тихоокеанских водах Камчатки // Известия ТИНРО. Т. 201. № 2. С. 400-415.
- Перцева-Остроумова Т.А. 1961. Размножение и развитие дальневосточных камбал. М.: Изд-во АН СССР. 482 с.
- Расс Т.С. 1965. Инструкция по поиску рыбы по плавающей икре // Комиссия по рыбохоз. исслед. западной части Тихого океана (КРИЗТО). Пекин. С. 1-31.
- Саушкина Д.Я. 2013. Результаты весенних исследований ихтиопланктона в Авачинском заливе // Вестник Камчатского государственного технического университета. № 24. С. 56-59.
- Саушкина Д.Я. 2022 а. Случаи поимок личинок семейства камбаловых (Pleuronectidae) в тихоокеанских водах Камчатки в весенний период // Актуальные проблемы планктонологии. IV Всеросс. конф. с межд. участием. Мат. конф. Калининград. С. 170-173.
- Саушкина Д.Я. 2022 б. Случаи поимок мальков рыб семейства долгохвостовые (Gadiformes: Macrouridae) в тихоокеанских водах Камчатки в 2006-2018 гг. // Биология моря. Т. 48. № 5. С. 346-350.
- Сергеева Н.П. 2019. Интенсивность нереста минтая в Кроноцком заливе (Восточная Камчатка) // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей. Мат. XX Межд. науч. конф., посвященной 150-летию со дня рождения академика РАН В.Л. Комарова, Петропавловск-Камчатский, 12-13 ноября 2019 года / А.М. Токранов ред. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. С. 177-182.
- Токранов А.М. 1988. Размножение массовых видов керчаковых рыб прикамчатских вод // Биология моря. № 4. С. 28-32.
- Токранов А.М. 2009. Особенности биологии донных и придонных рыб различных семейств в прикамчатских водах. Автореф. дисс. ... докт. биол. наук. Петропавловск-Камчатский: ИБМ ДВО РАН. 84 с.
- Токранов А.М., Орлов А.М., Шейко Б.А. 2005. Промысловые рыбы материкового склона прикамчатских вод. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. 52 с.
- Фадеев Н.С. 1986. Палтусы и камбалы // Биологические ресурсы Тихого океана. М.: Наука. С. 341-364.
- Храпченков Ф.Ф. 1991. Особенности гидрологической структуры вод в районе Авачинского залива зимой 1989 г. // Океанология. Т. 31, вып. 6. С. 949-954.
- Matarese A. C., Kendall A. W., Blood D. R., Winter B. M. 1989. Laboratory guide to early life history stages of North-east Pacific fishes. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS. V. 80 (1). 625 p.
- Buslov A.V. 2008. Pollock of the eastern coast of Kamchatka: current state of stocks and recommendations for wise use // Izvestia TINRO. V. 152. P. 3-17. (In Russ.).
- Buslov A.V., Tepnin O.B. 2002. Conditions of spawning and embryogenesis of pollock *Theragra chalcogramma* (Gadidae) in deep-water canyons of the Pacific coast of Kamchatka // Voprosy ichtyologii. V. 42. № 5. P. 617-625. (In Russ.).
- Buslov A.V., Tepnin O.B., Dubinina A.Yu. 2006. Spring ichthyoplankton in the area of deep-sea canyons of Avacha Bay (eastern Kamchatka) // Izvestiya TINRO. V. 144. P. 226-246. (In Russ.).
- Varkentin A.I., Saushkina D.Ya. 2022. On some issues of pollock reproduction in the Pacific waters adjacent to Kamchatka and the northern Kuril Islands in 2013-2022. // Trudy VNIRO. V. 189. P. 105-119. (In Russ.).
- Varkentin A.I., Tepnin O.B., Saushkina D.Ya. Zimin A.V., Svergun E.I. 2024. Productivity of East Kamchatka pollock generations and some reasons that determine it // Conservation of biodiversity of Kamchatka and adjacent seas. Proc. of the 25th All-Russ. Scient. Conf. dedicated to the 130th anniversary of G.U. Lindberg. Petropavlovsk-Kamchatsky-Moscow: Publishing House of the Wildlife Conservation Center. P. 206-212. (In Russ.).
- Gamutilov A.E. 1959. Hydrological characteristics of the waters of the Kronotsky Bay // Trudy IOAN USSR. V. 36. P. 40-59. (In Russ.).
- Grigoriev S.S. 2007. Early stages of fishes of the north-east of Russia (coastal sea waters and inland waters). A.M. Tokranov ed. Vladivostok: FIB KFTIG. 331 p. (In Russ.).
- Kachina T.F., Sergeeva N.P. 1978. Methodology for calculating the spawning stock of East Okhotsk pollock // Rybnoe hosiaystvo. No. 12. P. 13-14. (In Russ.).
- Mukhametov I.N., Mukhametova O.N., Chastikov V.N. 2022. Spring ichthyoplankton of the Pacific waters of the northern Kuril Islands // Trudy VNIRO. V. 190. P. 62-78. (In Russ.).
- Ovchernenko R.T. 2024. Commercial Far Eastern flounder (Pleuronectidae) of the Pacific waters of Kamchatka: biology and stocks. PhD abstr. in biology. Moscow: VNIRO. 24 p. (In Russ.).
- Ovchernenko R.T., Saushkina D.Ya. 2021. Distribution of eggs and fish of the four-tubercle *Pleuronectes quadrituberculatus* and narrow-toothed halibut *Hippoglossoides elassodon* flounder (Pleuronectidae) in the Pacific waters of Kamchatka // Izvestia TINRO. T. 201. No. 2. P. 400-415. (In Russ.).
- Pertseva-Ostroumova T.A. 1961. Reproduction and development of Far Eastern flounders. Moscow: AS USSR Publishing House. 482 p. (In Russ.).
- Russ T.S. 1965. Instructions for searching for fish by floating eggs // Western Pacific Fisheries Research Commission (WPRRC). Beijing. P. 1-31. (In Russ.).
- Saushkina D. Ya. 2013. Results of spring studies of ichthyoplankton in Avacha Bay // Bulletin of Kamchatka STU. No. 24. P. 56-59. (In Russ.).

REFERENCES

Balykin P.A., Tepnin O.B. 1998. Water dynamics and spawning of pollock *Theragra chalcogramma* in eastern Kamchatka // Studies of biology and dynamics associated with commercial fish of the Kamchatka shelf. No. 4. P. 7-14. (In Russ.).

- Saushkina D.Ya.* 2022 a. Cases of captures of larvae of the flounder family (Pleuronectidae) in the Pacific waters of Kamchatka in the spring. In the collection // Current problems of planktonology. IV All-Russ. conf. with intern. particip. Conf. mat. Kaliningrad. P. 170-173. (In Russ.).
- Saushkina D.Ya.* 2022 b. Cases of catching fry of fish of the long-tailed fish family (Gadiformes: Macrouridae) in the Pacific waters of Kamchatka in 2006-2018 // Marine biology. V. 48. No. 5. P. 346-350. (In Russ.).
- Sergeeva N.P.* 2019. Pollock spawning intensity in Kronotsky Bay (Eastern Kamchatka) // Conservation of biodiversity of Kamchatka and adjacent seas. Mat. of the XX Intern. Scient. Conf. dedicated to the 150th anniversary of the birth of V.L. Komarova. / A.M. Tokranov ed. Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress. P. 177-182. (In Russ.).
- Tokranov A.M.* 1988. Reproduction of common sculpin species in Kamchatka waters // Biology of the Sea. № . 4. P. 28-32. (In Russ.).
- Tokranov A.M.* 2009. Features of the biology of bottom and demersal fish of various families in Kamchatka waters. Abstract of the diss. of Doct. in Biology. Petropavlovsk-Kamchatsky: IBS FEB RAS. (In Russ.).
- Tokranov A.M., Orlov A.M., Sheiko B.A.* 2005. Commercial fish of the continental slope of Kamchatka waters. Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress. 52 pp. (In Russ.).
- Fadeev N.S.* 1986. Halibuts and flounders. In the book: Biological resources of the Pacific Ocean. Moscow: Nauka. P. 341-364. (In Russ.).
- Khrapchenkov F.F.* 1991. Features of the hydrological structure of waters in the Avacha Bay area in the winter of 1989 // Oceanology. V. 31. Iss. 6. P. 949-954. (In Russ.).
- Matarese A. C., Kendall A. W., Blood D. R., Winter B. M.* 1989. Laboratory guide to early life history stages of North-east Pacific fishes. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS. V. 80 (1). 625 p.

*Поступила в редакцию 17.04.2025 г.
Принята после рецензии 28.11.2025 г.*



УДК 597.552.511:575.174(265.53)

Промысловые виды и их биология

Генетическая идентификация молоди кеты бассейна Охотского моря в смешанных траловых уловах

А.Д. Денисенко, Е.А. Бугаева, В.В. Савенков, О.В. Зикунова, О.А. Пильганчук, У.О. Муравская, Д.В. Бабушкин, М.В. Крупенева, Н.Ю. Шпигальская

Камчатский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («КамчатНИРО»), ул. Набережная, 18, г. Петропавловск-Камчатский, 683000
E-mail: a.denisenko@kamniro.vniro.ru

SPIN-коды: Денисенко А.Д. – 2733-3165; Савенков В.В. – 2485-8694; Зикунова О.В. – 9511-1667; Пильганчук О.А. – 2822-8604; Муравская У.О. – 6087-9569; Крупенева М.В. – 5772-8217; Шпигальская Н.Ю. – 5031-4912

Целью работы является проведение региональной генетической идентификации молоди кеты в смешанных скоплениях в Охотском море по материалам осенней траловой съёмки 2021 г. для оценки численности и прогноза возвратов поколения 2020 г. **Методы исследования** включали анализ полиморфизма восьми микросателлитных локусов (*Ssa 20.19*, *One 101*, *Oke 3*, *Oki1b*, *Oki 23*, *Ogo 2G*, *Oke 11*, *Ots 102*), а также проведение статистического анализа и генетической идентификации с применением референсной базы данных частот аллелей кеты Охотоморского бассейна и программ Cervus, GDA, ONCOR и GenClass2. **Результаты** генетической идентификации позволили определить доли молоди кеты из основных нерестовых регионов Охотоморского бассейна: с преобладанием рыб из рек о. Сахалин (31%), а также особей из бассейна р. Амур (27%), о. Итуруп (22%) и Западной Камчатки с северной частью материкового побережья Охотского моря (19%). На основе идентификации рассчитана ожидаемая численность возврата производителей кеты Западной Камчатки поколения 2020 г., которая соответствует уже зарегистрированному подходу возрастной группы 3+ и предварительной оценке для группы 4+. Это свидетельствует о положительной согласованности генетически основанных оценок с фактическими данными на текущем этапе работы при том, что окончательные выводы о надёжности подхода потребуют накопления многолетних наблюдений. **Практическая значимость** исследования состоит в повышении точности мониторинга запасов кеты и уточнении прогнозных оценок возвратов производителей, что способствует разработке более обоснованных рекомендаций по рациональному использованию лососевых ресурсов в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне.

Ключевые слова: кета *Oncorhynchus keta*, Охотоморский бассейн, смешанные скопления, генетическая идентификация, прогноз нерестовых возвратов.

Genetic identification of juvenile chum salmon of the Okhotsk Sea basin in mixed trawl catches

Anastasiia D. Denisenko, Ekaterina A. Bugaeva, Vladimir V. Savenkov, Olga V. Zikunova, Oksana A. Pilganchuk, Uliana O. Muravskaia, Daniil V. Babushkin, Mariia V. Krupeneva, Nina Iu. Shpigalskaia
Kamchatka branch of VNIRO («KamchatNIRO»), 18, Naberezhnaya st., Petropavlovsk Kamchatsky, 683000, Russia

The objective of this study was to conduct regional genetic identification of juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*) within mixed aggregations in the Okhotsk Sea based on materials from the autumn trawl survey of 2021, in order to estimate stock abundance and forecast returns of the 2020 year-class. **The research methods** included analysis of polymorphism at eight microsatellite loci (*Ssa20.19*, *One101*, *Oke3*, *Oki1b*, *Oki23*, *Ogo2G*, *Oke11*, *Ots102*), as well as statistical analysis and genetic identification using a reference database of allele frequencies for chum salmon populations from the Okhotsk Sea basin and the software packages Cervus, GDA, ONCOR, and GenClass2. **The results** of genetic identification made it possible to determine the proportions of juvenile chum salmon originating from the main spawning regions of the Okhotsk Sea basin, with a predominance of individuals from Sakhalin Island (31%), followed by the Amur River basin (27%), Iturup Island (22%), and Western Kamchatka together with the northern mainland coast of the Okhotsk Sea (19%). Based on the identification results, the expected number of returning adult chum salmon from the 2020 year-class of Western Kamchatka origin was estimated. These estimates correspond to the already observed returns of age group 3+ and the preliminary evaluations for group 4+. This indicates a positive consistency between genetically derived estimates and the actual data at the current stage of research, while final conclusions regarding the reliability of the approach will require accumulation of multi-year observations. **The practical significance** of the study lies in improving the accuracy of chum salmon stock monitoring and refining the predictive assessments of spawning returns, thereby contributing to the development of more scientifically grounded recommendations for the sustainable management of salmon resources in the Far Eastern fisheries basin.

Keywords: chum salmon *Oncorhynchus keta*, Okhotsk Basin, mixed aggregations, genetic identification, spawning returns forecast.

ВВЕДЕНИЕ

Ежегодно специалисты Тихоокеанского филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО») проводят траловые съёмки по учёту численности откочёвывающей молоди тихоокеанских лососей в Охотском море. Учётные работы позволяют в короткие сроки охватить наибольшую часть нагульной акватории смешанных скоплений молоди лососей, прежде всего, сеголеток горбуши и кеты. При проведении данных съёмок учитывается численность тихоокеанских лососей в период их посткатадромной миграции к местам нагула [Гордеев и др., 2019; Сомов А.А. и др., 2023]. Полученные данные применяются для осуществления мониторинга и разработки рекомендаций по рациональному использованию лососевых ресурсов в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне.

Поскольку учтённая в Охотском море молодь тихоокеанских лососей образует смешанные скопления различных региональных стад (западнокамчатского, континентального побережья, восточносахалинского, южных Курильских островов, японского происхождения), важной задачей является дифференциация учтённого запаса на региональные составляющие [Лососи – 2023, 2023¹].

В связи с этим с 2009 г. на регулярной основе проводится генетическая идентификация молоди горбуши (*Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1792)) в Охотском море, результаты которой используются для расчета ожидаемой величины возвратов вида и разработке перспективных прогнозов [Шпигальская и др., 2023; Косицына и др., 2022]. В отношении охотоморской молоди кеты (*O. keta* (Walbaum, 1792)) подобные работы в Камчатском филиале ГНЦ РФ «ВНИРО» (КамчатНИРО) впервые апробированы в 2018 г. [Денисенко и др., 2023 b]. Для полноценного внедрения результатов региональной идентификации молоди кеты в состав прогнозов предстоит накопить и проанализировать материал не менее 10 полностью вернувшихся поколений, что позволит сформировать регрессионную модель «учёт в море – возврат», по аналогии с охотоморской горбушей. Однако, имеющаяся информация по идентификации уже привлекается в качестве индикаторной в экспериментальном порядке при определении уровня численности поколений западнокамчатской кеты, от которых в будущие годы ожидается возврат.

Особую актуальность данные исследования приобрели после проведения учётной съёмки в 2021 г.,

в ходе которой была зафиксирована беспрецедентно высокая общая численность сеголеток кеты – 1184 млн экз., что более чем вдвое превысило среднемноголетний уровень предшествующего 10-летнего периода (2011-2020 гг.) – 431 млн экз. Столь значительный объём учтённой молоди в смешанных скоплениях обуславливает прямую необходимость их региональной дифференциации для объективной оценки состояния запасов отдельных стад, прежде всего – промыслово-значимой кеты Западной Камчатки.

Кроме того, накопленные к настоящему времени данные о фактических возвратах производителей возрастной группы 3+ в 2024 г. открывают возможность для верификации метода на примере конкретного регионального стада. Сопоставление результатов генетической идентификации поколения 2020 г. с реальными показателями подходов позволяет оценить точность прогностических моделей и проанализировать согласованность генетически основанных оценок с фактическим состоянием запасов на текущем этапе исследований.

Исходя из вышеизложенного, целью настоящей работы является проведение региональной генетической идентификации молоди кеты в смешанных скоплениях в Охотском море (по материалам съёмки 2021 г.) для определения долевого вклада основных нерестовых регионов и последующей оценки численности и прогноза возвратов производителей поколения 2020 г. западнокамчатской кеты.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В 2021 г. материал для региональной идентификации молоди кеты по данным осенней траловой съёмки в Охотском море, выполненной на НИС «Профессор Кагановский» и НИС «ТИНРО», собран сотрудниками «КамчатНИРО» 03.10-28.10.2021 г. Характеристика собранного материала, даты и места сбора выборок представлены на рис. 1 и в табл. 1. Всего исследованы выборки из уловов 16-ти тралений. Суммарный объём проанализированного материала составил 768 экз. сеголеток кеты.

ДНК выделяли из ткани сердечной мышцы и плавника, фенол-хлороформным методом [Маниатис и др., 1984; Sambrook et al., 1989].

В анализе использованы восемь микросателлитных локусов: *Ssa 2019* [Sánchez et al., 1996], *One101* [Olsen et al., 2000], *Oki1b*, *Oki23* [Smith et al., 1998], *Ogo2G* [Olsen et al., 1998], *Oke3*, *Oke11* [Buchholtz et al., 2001] и *Ots102* [Nelson, Beacham, 1999]. ПЦП проводили по следующей схеме: денатурация в течение 2 мин. при 94 °С, затем – 8 циклов, включающих 1 мин. при t = 94 °С, 30 с отжига праймеров при 54-68 °С, 15

¹ Лососи – 2023 (путинный прогноз). 2023. Владивосток: ТИНО. 104 с.

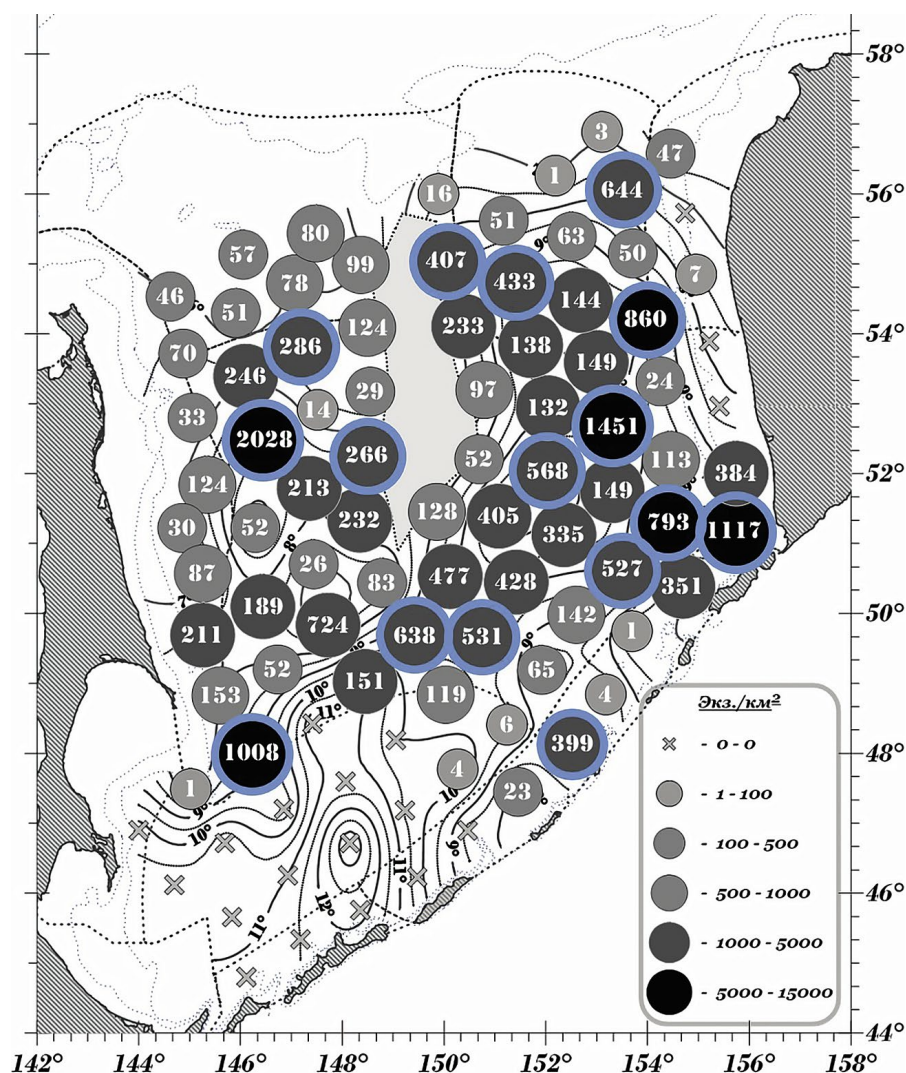


Рис. 1. Распределение уловов молоди кеты (экз./траление) по данным траловой съёмки, выполненной в период 03-28 октября 2021 г. на НИС «Профессор Кагановский» и «ТИНРО»; синим цветом обозначены станции и указаны номера тралений, выборки из уловов которых включены в анализ

Fig. 1. Distribution of juvenile chum salmon catches (ind./trawl) based on trawl survey data collected from 3 to 28 October 2021 on the research vessels Professor Kaganovsky and TINRO; stations shown in blue indicate trawls whose catch subsamples were included in the analysis

с элонгация при 72 °С, завершающая элонгация 3 мин. при 4 °С.

Продукты амплификации разделяли путём электрофореза в вертикальном блоке 6%-ного полиакриламидного геля в 0,5×TBE-буфере. В качестве маркеров длин фрагментов использовали ДНК плазмиды *pBR322*, обработанную рестриктазами *Hpa*II. Электрофореграммы визуализировали в результате окрашивания бромидом этидия и фотографировали в проходящем ультрафиолетовом свете.

В программном приложении Cervus 3.0.7 рассчитывали частоту аллелей, ожидаемую (H_e) и наблюдаемую (H_o) гетерозиготности, среднее число аллелей на locus [Gruber, Adamack, 2015]. Индекс фиксации f

рассчитан в программном пакете GDA [Lewis, Zaykin, 2001]².

Генетическую идентификацию проводили с использованием референсной базы данных частот микросателлитных локусов кеты Охотоморского бассейна, созданной в лаборатории молекулярной генетики КамчатНИРО. Проанализированы частоты аллелей вышеуказанных локусов в 27 выборках из различных регионов воспроизводства кеты в охотоморском бассейне. Всего в базе насчитывается 1354 экз. [Денисенко и др., 2023 а].

² Lewis P.O., Zaykin D. 2001 GDA (Genetic Data Analysis): Computer Program for the Analysis of Allelic Data. Versión 1.1, University of Connecticut, Storrs. <http://phylogeny.uconn.edu/software/> 27.01.2025.

Таблица 1. Характеристика материала, собранного для региональной генетической идентификации смешанных скоплений молоди кеты в Охотском море в период проведения осенней траловой съёмки на НИС «Профессор Кагановский» и НИС «ТИНРО» в 2021 г.

Table 1. Characteristics of samples collected for regional genetic identification of mixed aggregations of juvenile chum salmon in the Sea of Okhotsk during the 2021 autumn trawl survey on the research vessels Professor Kaganovsky and TINRO

№ выборки	№ траления	Координаты	Экз./траление	Кол-во исследованных образцов
НИС «ТИНРО»				
1	191	(48°00'6 N 146°13'0 E)	1008	48
2	184	(52°29'1 N 146°28'9 E)	2028	48
3	163	(49°40'9 N 149°26'0 E)	638	48
4	149	(48°08'2 N 152°31'9 E)	399	48
5	182	(53°48'9 N 147°11'2 E)	286	48
6	164	(49°40'2 N 150°46'0 E)	531	48
7	171	(52°16'0 N 148°29'2 E)	266	48
НИС «Профессор Кагановский»				
8	184	(51°18'2 N 154°25'4 E)	793	48
9	188	(52°40'3 N 153°18'3 E)	1451	48
10	185	(51°11'2 N 155°42'5 E)	1117	48
11	204	(56°03'3 N 153°30'6 E)	644	48
12	197	(54°44'4 N 151°23'9 E)	433	48
13	195	(54°12'5 N 153°58'0 E)	860	48
14	179	(50°38'3 N 153°30'9 E)	527	48
15	182	(52°01'9 N 152°02'4 E)	568	48
16	208	(54°06'4 N 150°23'2 E)	407	48

Оценка точности идентификации региональных групп выполнена с использованием программы ONCOR [Anderson et al., 2007]. Тест на принадлежность к популяции рассчитывали в программе GenClass2 [Piry et al., 2004].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На основе полученных ранее данных анализа изменчивости микросателлитных локусов кеты были сформированы 4 референсные группы для идентификации смешанных скоплений: Западная Камчатка и северная часть материкового побережья Охотского моря (ЗК и СчМПОМ), о. Сахалин, о. Итуруп (Курильские о-ва), бассейн р. Амур [Денисенко и др., 2023 с]. При этом наибольшее своеобразие выявлено у кеты о. Итуруп и бассейна р. Амур.

В качестве проверки перспективы применения созданной референсной базы данных при определении регионального состава смешанных выборок кеты были рассчитаны вероятностные оценки точности идентификации. Разрешающая способность референсной базы находится в пределах 74,9-94,6%. Молодь кеты Курильских о-вов и бассейна реки Амур определяется с максимальной точностью (94,6% и 84,4%) соответственно. Точность идентификации

для популяций кеты из рек о. Сахалин – 75,4%, для Западной Камчатки и СчМПОМ – 74,9% (табл. 2).

Таблица 2. Вероятностные оценки определения региональной принадлежности особей из смешанных выборок кеты бассейна Охотского моря

Table 2. Probabilistic estimates of regional origin for individuals from mixed samples of chum salmon from the Sea of Okhotsk basin

Локализация и год сбора выборки	Региональная группа	Точность идентификации в %
р. Опала (2014) р. Большая (2013) р. Кихчик (2014) р. Воровская (2013) р. Колпакова (2014) р. Крутогорова (2014) р. Облуковина (2014) р. Палана (2008) р. Пенжина (2014) р. Наяхан (2010) р. Яма (2011) р. Иня (2011) р. Тауй (2011) р. Кухтуй (2011) р. Охота (2011)	Западная Камчатка и северная часть материкового побережья Охотского моря	74,9

Окончание табл. 2

Локализация и год сбора выборок	Региональная группа	Точность идентификации в %
р. Лангры (2009) р. Тымь (2004) р. Лангери (2018) р. Житная (2005) р. Найба (2009)	О. Сахалин	75,4
р. Рейдовая (2016) р. Курилка (2016) ЛРЗ «Китовый» (2016) ЛРЗ «Бухта Оля» (2016)	О. Итуруп (Курильские о-ва)	94,6
р. Амур (летняя) (2010) р. Амур (осенняя) (2010)	Бассейн р. Амур	84,4

В ходе исследования траловых выборок молоди кеты по восьми микросателлитным локусам выявлено 92 аллельных вариантов. Наибольшее число аллелей обнаружено в локусе *One101* (31) (табл. 3). Самым низкополиморфным локусом оказался *Oki1b* с числом аллелей, равным 4. Среднее число аллелей на локус составило 12. Максимальное значение наблюдаемой гетерозиготности отмечено в локусе *Ogo2G* (0,566), а минимальное в локусе *Oki23* (0,299). Значительный дефицит гетерозигот был отмечен в двух локусах: *Oke3* (индекс фиксации 0,432) и *One101* (индекс фиксации 0,385).

Анализ результатов генетической идентификации в индивидуальных выборках позволил выявить характерную динамику регионального состава молоди кеты в широтном аспекте. При продвижении с севера на юг наблюдается закономерная смена доминирующих группировок: в северной части моря (севернее 52° с. ш.) преобладает молодь из бассейна р. Амур

(32%), тогда как доля рыб с о. Итуруп минимальна (13%). В южных районах акватории ситуация меняется на противоположную – доля амурской кеты снижается до 14%, а особи итурупской группировки начинают доминировать, составляя 39%. При этом показатели представленности стад Западной Камчатки и о. Сахалин остаются относительно стабильными по всей исследованной акватории (рис. 2)

Для изучения пространственной структуры скоплений выборки были объединены в четыре региональных комплекса (рис. 3). Группировка проводилась по географическому принципу с учётом пространственной близости станций и локализации зон повышенной плотности концентрации молоди, выявленных в ходе траловой съёмки. В состав этих групп вошли: «северо-восточная» (тр. № 197, 204, 195, 208), «юго-восточная» (тр. № 188, 184К, 185, 182К, 179), «западная» (тр. № 182, 184Т, 191, 171) и «центральная» (тр. № 163, 164) (рис. 3). Станция вблизи Курильских островов (трал № 149) рассматривалась как самостоятельная единица анализа, не включённая в состав объединённых комплексов; основу её региональной структуры составила молодь кеты о. Итуруп (68%) (рис. 2).

Региональная идентификация смешанных выборок кеты показала, что в «северо-восточной» группе преобладали особи из рек Западной Камчатки + СчМПОМ и о. Сахалин, причём почти в равных долях – 32% и 28%. Молодь бас. р. Амур определена второй по встречаемости (26%). Кета Курильских о-вов составила 14%. В «юго-восточной» группе выборок большинство молоди относится к о. Итуруп (41%). Особи с о. Сахалин определены в меньшем количестве (33%). Кета Западной Камчатки + СчМПОМ и бассейне р.

Таблица 3. Характеристика микросателлитных локусов кеты бассейна Охотского моря
Table 3. Characteristics of microsatellite loci in chum salmon from the Sea of Okhotsk basin

Локус	Число исследованных экз.	Число аллелей	Размер фрагмента, п. н.	H_o	H_e	f
<i>Ssa20.19</i>	753	6	76-90	0,343	0,469	0,167
<i>Oki23</i>	738	9	131-171	0,299	0,323	0,025
<i>Oke3</i>	726	13	205-322	0,423	0,794	0,432
<i>Ogo2G</i>	742	13	87-121	0,566	0,718	0,180
<i>Oke11</i>	734	7	92-102	0,361	0,393	0,048
<i>Oki1b</i>	749	4	92-102	0,454	0,492	0,044
<i>Ots102</i>	752	9	151-207	0,535	0,616	0,105
<i>One101</i>	714	31	128-254	0,492	0,837	0,385
Среднее		12		0,434	0,580	0,173

Примечание: п. н. – пары нуклеотидов; H_o – средняя наблюдаемая гетерозиготность; H_e – средняя ожидаемая гетерозиготность; f – индекс фиксации [Вейр, 1995].

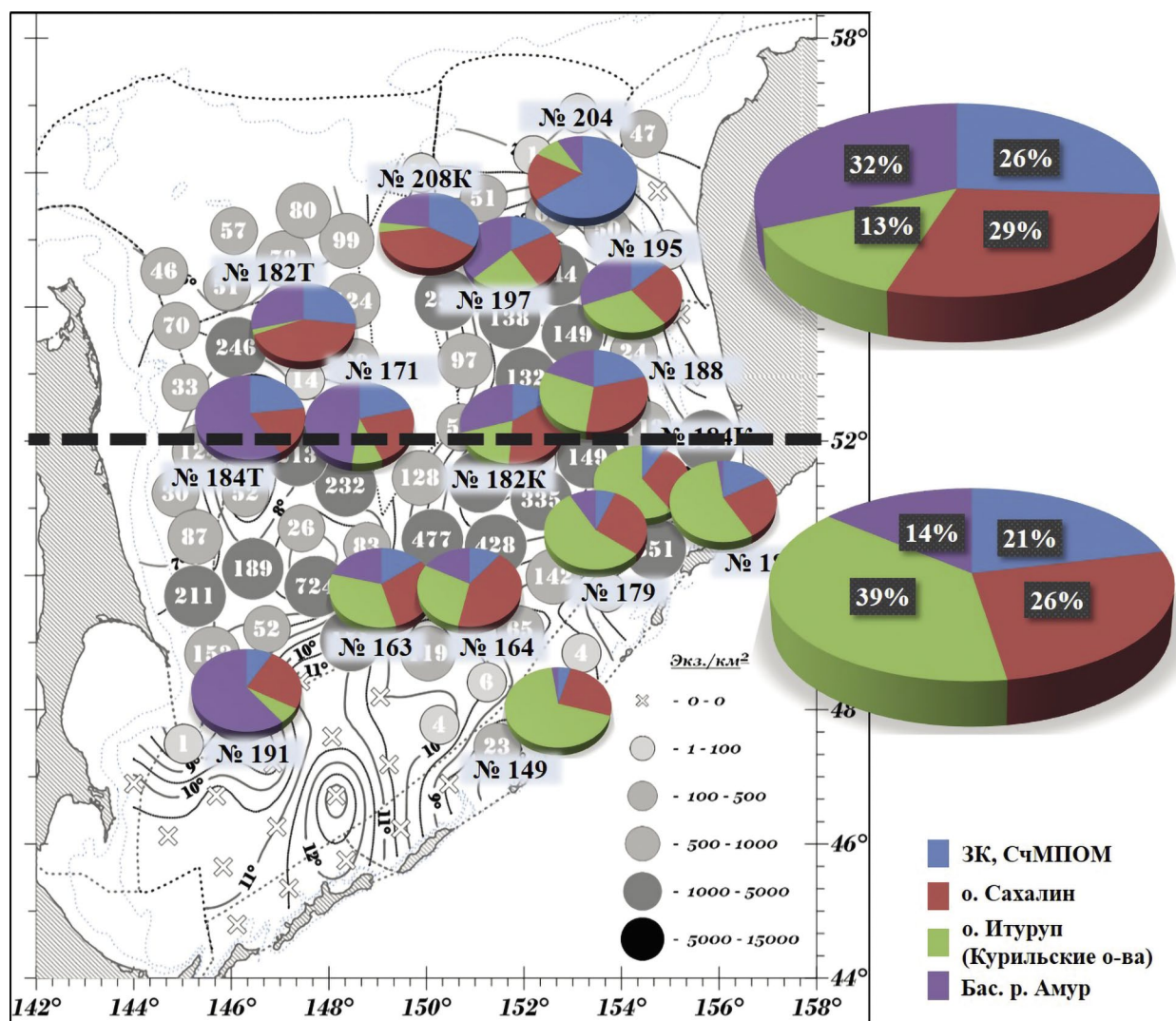


Рис. 2. Процентное соотношение молоди кеты различных регионов охотоморского бассейна в уловах осенней траловой съёмки 2021 г. в северной (севернее 52° с. ш.) и южной частях Охотского моря

Fig. 2. Percentage composition of juvenile chum salmon from various regions of the Okhotsk Sea basin in the catches of the 2021 autumn trawl survey in the northern (north of 52° N) and southern parts of the Sea of Okhotsk

Амур составила 14 и 12%, соответственно. Для «западной» группы характерным является преобладание молоди из бассейна р. Амур (49%). Так же в значимом количестве (27% и 20%) выявлены особи о-ва Сахалин и Западной Камчатки + СчМПОМ. В центральной части Охотского моря доминировали две группы молоди: о. Сахалин (37%) и о. Итуруп (31%), в долях 19% и 13% выявлены особи бассейна р. Амур и Западной Камчатки + СчМПОМ. В улове трала № 149 (46 с. ш., вблизи Курильской гряды) в подавляющем большинстве была выявлена молодь кеты о. Итуруп (68%).

В общем составе молоди кеты из нерестовых регионов охотоморского бассейна, незначительно преобладает доля особей из рек о. Сахалин (31%). В меньшем количестве, но в тоже время в значимой доле в объединённой выборке представлены рыбы

бассейна р. Амур (27%), о. Итуруп (22%) и Западной Камчатки + СчМПОМ (19%) (рис. 3).

При интерпретации полученных данных региональной идентификации необходимо учитывать сведения о генетической близости стад кеты различных регионов. В частности, ранее было установлено, что заводская кета японского происхождения (о-ва Хоккайдо и Хонсю) обладает значительным генетическим сходством с популяциями о. Итуруп [Денисенко и др., 2023 а]. Данный факт имеет принципиальное значение для анализа пространственного распределения, поскольку, по данным многолетних исследований отолитного маркирования, японская молодь присутствует не только в южной части Охотского моря, но и проникает в его северные районы (севернее 54° с. ш.) [Чистякова, Бугаев, 2016; Бугаев и др., 2020; Буга-

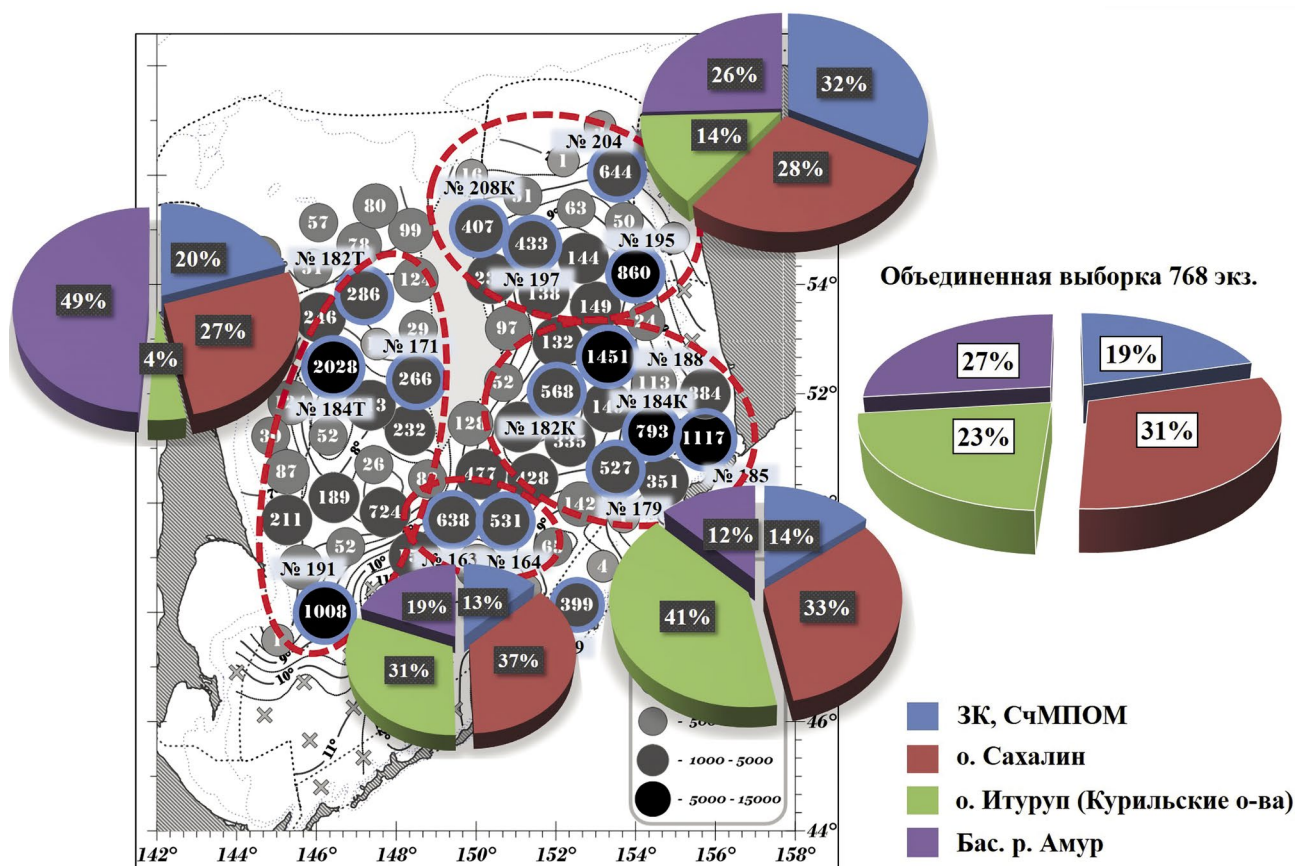


Рис. 3. Процентное соотношение молоди кеты в объединённых выборках из уловов осенней траловой съёмки 2021 года
Fig. 3. Percentage composition of juvenile chum salmon in combined catch subsamples from the 2021 autumn trawl survey

ев, Герлиц, 2023]. Таким образом, часть рыб, отнесённая в настоящем исследовании по генетическим признакам к группе о. Итуруп, фактически может являться молодью японских ЛРЗ, что следует принимать во внимание при оценке вклада курильских стад в общую численность смешанных скоплений.

Согласно результатам генетической идентификации установлено, что в 2021 г. от учётной численности сеголеток кеты, равной 1,184 млрд, нагуливавшихся в смешанных скоплениях в Охотском море, 19% или 225 млн скатилось из рек Западной Камчатки и северной части материкового побережья Охотского моря.

Однако в ходе траловой съёмки в северо-восточной части района работ было отмечено одно сверхрезультативное траление (2028 экз. кеты), которое было окружено малыми уловами. В итоговых материалах по анализу съёмки, во избежание завышения расчётной оценки возвратов, специалистами ТИПРО было принято решение ограничить численность учётных сеголеток кеты до 1 млрд. Таким образом, с учётом проведённой генетической идентификации, порядка 190 млн сеголеток может быть отнесено

к запасам кеты Западной Камчатки и северной части материкового побережья Охотского моря.

Для определения возможной численности ожидаемых к возврату в 2023-2026 гг. производителей поколения 2020 г., от 190 млн учётных сеголеток ЗК и СчМПОМ в Охотском море в 2021 г., привлекли имеющиеся данные по ранее полученным коэффициентам возврата для поколений 2017 и 2018 гг. (съёмки 2018 и 2019 гг.) [Денисенко, 2023b], которые составили 3 и 6%, соответственно. Определили, что суммарная численность вернувшихся производителей в два дальневосточных региона может составить от 5,7 до 11,4 млн рыб, в среднем 8,5 млн. Согласно официальным данным по вылову³, долевым вкладом в формирование запаса вида кластера ЗК и СчМПОМ равнозначный, в связи с этим распределили полученную оценку возврата на две равные части для каждого региона, т. е. по 4,25 млн производителей к возврату. Отметим, что данная оценочная численность поколения ниже среднемноголетней численности последних

³ NPAFC Statistics: Pacific Salmonid Catch and Hatchery Release Data <https://www.npafc.org/statistics/> 20.03.2025

Таблица 4. Процентное соотношение молоди кеты различных регионов охотоморского бассейна в выборках из уловов осенней траловой съёмки на НИС «Профессор Кагановский» и НИС «ТИНРО» в 2021 г.

Table 4. Percentage composition of juvenile chum salmon from various regions of the Okhotsk Sea basin in catch subsamples from the 2021 autumn trawl survey on the research vessels Professor Kaganovsky and TINRO

Выборка	Регион	ЗК и СчМПОМ (%)	о. Сахалин (%)	о. Итуруп (Курильские о-ва) (%)	Бассейн р. Амур (%)
НИС «ТИНРО», Тр. № 191		8	25	6	61
НИС «ТИНРО», Тр. № 184Т		23	19	0	58
НИС «Проф. Каган.», Тр. № 184К		8	32	60	0
НИС «Проф. Каган.», Тр. № 188		21	31	29	19
НИС «Проф. Каган.», Тр. № 185		17	25	56	2
НИС «Проф. Каган.», Тр. № 204		65	19	8	8
НИС «Проф. Каган.», Тр. № 197		17	25	21	37
НИС «ТИНРО», Тр. № 163		15	31	33	21
НИС «ТИНРО», Тр. № 149		4	26	68	2
НИС «ТИНРО», Тр. № 182		27	42	2	29
НИС «Проф. Каган.», Тр. № 195		13	27	29	31
НИС «ТИНРО», Тр. № 164		11	42	30	17
НИС «Проф. Каган.», Тр. № 179		6	29	56	9
НИС «Проф. Каган.», Тр. № 182К		15	36	19	30
НИС «Проф. Каган.», Тр. № 208К		33	40	4	23
НИС «ТИНРО», Тр. № 171		21	23	8	48

пяти (2015-2019 гг.) вернувшихся поколений западно-камчатской кеты – 5,27 млн рыб (2,78-7,24 млн). Соответственно, можно заключить, что общее количество производителей от нереста родителей 2020 г. будет характеризоваться невысокой численностью – ниже среднемноголетней величины.

Известно, что кета возвращается в нерестовые реки в возрасте от 2+ до 6+ лет. Подавляющее большинство особей одного поколения, формируют рыбы двух возрастов – 3+ и 4+ лет. Доля трёх – (2+), шести – (5+) и особенно семилетних рыбы в возвратах незначительна. Фактическое соотношение групп 3+ и 4+ в поколениях составляет 56 и 39% соответственно (5% суммарно группы 2+ и 5+). Таким образом, исходя из расчётной величины всего поколения равной 4,25 млн, порядка 2,38 млн должны вернуться в возрасте 3+ и 1,66 млн – в возрасте 4+.

В 2024 г. уже состоялся возврат кеты от поколения 2020 г. в возрасте 3+ в количестве 2,35 млн рыб. Следовательно, данная величина полностью соотносится с полученной расчётной численностью – 2,38 млн. Возврат второй по значимости возрастной группы – 4+ состоится в 2025 г., фактическая численность которой будет также сопоставлена с оценкой, полученной с помощью генетической идентификации. На данном этапе отметим, что согласно материалам, обосновывающих объём прогнозируемого вылова кеты на Западной

Камчатке в 2025 г., потенциальный возврат группы 4+ спрогнозирован на уровне 1,36 млн, что в целом, также согласуется с расчётной оценкой – 1,66 млн.

Подытоживая вышеизложенное, подчеркнём, что проведённый современный метод генетического исследования кеты позволит расширить знания о распределении и путях нагульных миграций кеты в морской и океанический периоды жизни, определить коэффициенты возврата и смертности поколений, а в перспективе повысит точность прогнозов подходов и вылова вида как в Камчатском крае, так и в других дальневосточных регионах. На текущий момент данный блок информации уже используется при подготовке материалов прогнозов кеты Западной Камчатки в качестве индикаторной информации. По мере накопления результатов генетических исследований (рядов данных) к данному блоку информации будет применяться аналитический подход, в частности, построение модели типа «учёт в море – возврат».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По материалам осенних траловых съёмок, помимо учтённой численности сеголеток тихоокеанских лососей, для подготовки обоснования прогноза величины нерестовых возвратов в настоящее время активно используются результаты молекулярно-генетических исследований.

В представленной работе на основе референсной базы данных частот микросателлитных локусов кеты определён региональный состав смешанных скоплений в 2021 г. В общем процентном соотношении смешанных выборок молоди кеты по результатам генетической идентификации не выявлено как явно доминирующей группы, так и группы с заметно низкой оценкой количества особей.

Доля западнокамчатской молоди в Охотском море позволила оценить вклад этого региона в общем запасе и спрогнозировать величину поколения 2020 г. на основе коэффициентов возврата предыдущих поколений. Полученные расчёты демонстрируют высокую степень соответствия с фактическими подходами группы 3+ в 2024 г., что демонстрирует высокий уровень информативности генетической идентификации, для корректировки материалов прогноза возвратов производителей.

Для повышения точности идентификации особенно важно обратить внимание на регионы с низкой разрешающей способностью, такие как о. Сахалин и Западная Камчатка + СЧМПОМ. Планируется апробация новых наборов генетических маркеров для поиска дифференцирующих вариантов аллелей. Параллельно ведётся работа по расширению референсной базы данных выборок кеты из основных нерестовых рек охотоморского бассейна.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

Финансирование

Работа выполнена в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации для ФГБНУ «ВНИРО» (ГНЦ РФ) № 076-00005-25-00.

ЛИТЕРАТУРА

- Бугаев А.В., Герлиц А.И. 2023. Характеристика нагульных миграций заводской молоди тихоокеанских лососей в бассейне Охотского моря и прилегающих водах Тихого океана в осенне-зимний период (региональная идентификация, численность и распределение уловов, биологические показатели, оценки смертности) // Известия ТИНРО. Т. 203. № 1. С. 16-45. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-16-45
- Бугаев А.В., Чистякова А.И., Урава С. 2020. Многолетние тенденции распределения и регионального состава заводской молоди горбуши и кеты в период осенних миграций в бассейне Охотского моря // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 57. С. 67-98. DOI: 10.15853/2072-8212.2020.57.67-98
- Гордеев И.И., Шевляков В.А., Курносов Д.С., Пономарев С.С., Кожевников А.В., Чистякова Т.А., Безверхняя А.О., Жильцов А.Е., Свидерский В.А., Шейбак А.Ю. 2019. Траловая учётная съёмка тихоокеанских лососей на НИС «Профессор Кагановский» в Беринговом и Охотском морях (сентябрь-октябрь 2019 г.) // Труды ВНИРО. Т. 178. С. 200-205. DOI: 10.36038/2307-3497-2019-178-200-205
- Денисенко А.Д., Герлиц А.И., Бугаева Е.А., Савенков В.В., Пильганчук О.А., Муравская У.О., Шпигальская Н.Ю., Бугаев А.В. 2023 а. Генетическая характеристика молоди кеты с меткой японских ЛРЗ из траловых уловов учётных съёмок 2016-2021 гг. // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 71. С. 47-59. DOI: 10.15853/2072-8212.2023.71.47-59
- Денисенко А.Д., Зикунцова О.В., Пильганчук О.А., Савенков В.В. 2023 б. Применение результатов генетической идентификации при определении смертности молоди кеты (*Oncorhynchus keta*) Западной Камчатки по материалам осенней траловой съёмки 2018 г. // Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса. Мат. XI межд. науч.-практ. конф. молодых учёных и специалистов. М.: ВНИРО. С. 75-77.
- Денисенко А.Д., Муравская У.О., Пильганчук О.А., Шпигальская Н.Ю., Савенков В.В., Зикунцова О.В. 2023 с. Оценка регионального состава смешанных скоплений молоди кеты в Охотском море по результатам генетических исследований // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. Части Тихого океана. Вып. 70. С. 5-26. DOI: 10.15853/2072-8212.2023.70.5-26
- Косицына А.И., Шпигальская Н.Ю., Сергеев А.А., Сошникова В.А., Савенков В.В., Денисенко А.Д., Муравская У.О., Зеленина Д.А. 2022. Генетическая идентификация молоди горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) Охотоморского бассейна по результатам рестрикционного анализа митохондриальной ДНК и анализа однонуклеотидных полиморфизмов // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. № 66. С. 52-67. DOI: 10.15853/2072-8212.2022.66.52-67.
- Маниатис Т., Фрич Э., Сэмбрук Дж. 1984. Молекулярное клонирование. М.: Мир. 479 с. ((*Maniatis T., Fritsch E.F., Sambrook J.* 1982. *Molecular Cloning: A Laboratory Manual.* Cold Spring Harbor. N. Y.))
- Сомов А.А., Шевляков Е.А., Старовойтов А.Н., Шевляков В.А., Дедерер Н.А., Мельников И.В. 2023. Перспективы промысла горбуши в дальневосточных регионах Берингова и Охотского морей в 2023 г. по результатам анализа траловых съёмок молоди на НИС «ТИНРО» и «Профессор Кагановский» осенью 2022 г. // Бюл. № 17 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. Владивосток: ТИНРО. С. 87-100. DOI: 10.26428/losos_bull17-2023-87-100. EDN: SVAJWC.
- Чистякова А.И., Бугаев А.В. 2016. Оценка происхождения и пути миграций заводской молоди горбуши и кеты в бассейне Охотского моря в осенний период

- 2011-2014 гг. // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 40. С. 5-23. DOI: 10.15853/2072-8212.2016.40.5-23
- Шпигальская Н.Ю., Зеленина Д.А., Пильганчук О.А., Сошникова В.А., Муравская У.О., Денисенко А.Д., Савенков В.В., Бугаева Е.А. 2023. Генетическая идентификация молоди горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) нечётной линии воспроизводства по результатам рестрикционного анализа митохондриальной ДНК и анализа однонуклеотидных полиморфизмов // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Вып. 71. С. 5-22. DOI: 10.15853/2072-8212.2023.71.5-22
- Anderson E.C., Waples R.S., Kalinowski S.T. 2008. An improved method for estimating the accuracy of genetic stock identification // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. V. 65 (7). P. 1475-1486. DOI: 10.1139/F08-049
- Buchholtz W.G., Miller S.J., Spearman W.J. 2001. Isolation and characterization of chum salmon microsatellite loci and use across species // Animal Genetics. V. 32. № 3. P. 162-165. DOI: 10.1046/j.1365-2052.2001.0723b.x
- Gruber B., Adamack A.T. 2015. Landgenreport: A new R function to simplify landscape genetic analysis using resistance surface layers // Mol. Ecol. Resour. V. 15(5). P. 1172-1178. DOI: 10.1111/1755-0998.12381
- Nelson R.J. D., Beacham T.D., 1999. Isolation and cross species amplification of microsatellite loci useful for study of Pacific salmon // Animal Genetics. V. 30. P. 228-229. DOI: 10.1046/j.1365-2052.1999.00404-4.x
- Olsen J.B., Bentzen P., Seeb J.E., 1998. Characterization of seven microsatellite loci derived from pink salmon // Molecular Ecology. V. 7. P. 1083-1090. PMID: 9711869
- Olsen J.B., Wilson S.L., Kretschmer E.J., Jones K.C., Seeb J.E., 2000. Characterization of 14 tetranucleotide microsatellite loci derived from sockeye salmon // Molecular Ecology. V. 9. P. 2185-2187. DOI: 10.1046/j.1365-294x.2000.105317.x
- Piry S., Alapetite A., Cornuet J.-M., Paetkau D., Baudouin L., Estoup A. 2004. GeneClass2: A software for genetic assignment and first-generation migrant detection // Journal of Heredity. Vol. 95. P. 536-539. DOI: 10.1093/jhered/esh074
- Sambrook J., Fritsch E.F., Maniatis T. 1989. Molecular Cloning: A Laboratory Manual. N.Y. Cold Spring Harbor Lab. Press. 1626 p.
- Sánchez J.A., Clabby C., Ramos D., Blanco G., Vazquez E., Powell R. 1996. Protein and microsatellite single locus variability in *Salmo salar* L. (Atlantic salmon) // Heredity. V. 77. P. 423-432. DOI: 10.1038/hdy.1996.162
- Smith C.T., Koop B.F., Nelson R.J., 1998. Isolation and characterization of Coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) microsatellites and their use in other salmonids // Molecular Ecology. V. 7. P. 1613-1621. PMID: 9819912
- in the Okhotsk Sea basin and adjacent Pacific waters during the autumn–winter period (regional identification, abundance and distribution of catches, biological characteristics, mortality estimates) // Izvestiya TINRO. 203(1). P. 16-45. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-16-45. (In Russ.).
- Bugaev A.V., Chistyakova A.I., Urabe S. 2020. Long-term trends in the distribution and regional composition of hatchery-origin juvenile pink and chum salmon during autumn migrations in the Okhotsk Sea basin // Studies of Aquatic Biological Resources of Kamchatka and the Northwestern Part of the Pacific Ocean. V. 57. P. 67-98. DOI: 10.15853/2072-8212.2020.57.67-98. (In Russ.).
- Gordeev I.I., Shevlyakov V.A., Kurnosov D.S., Ponomarev S.S., Kozhevnikov A.V., Chistyakova T.A., Bezverkhnyaya A.O., Zhiltsov A.E., Svidersky V.A., Sheibak A.Yu. 2019. Trawl survey of Pacific salmon using the R/V Professor Kaganovsky in the Bering and Okhotsk Seas (September–October 2019) // Trudy VNIRO. 178. P. 200-205. DOI: 10.36038/2307-3497-2019-178-200-205. (In Russ.).
- Denisenko A.D., Gerlits A.I., Bugaeva E.A., Savenkov V.V., Pilganchuk O.A., Muravskaya U.O., Shpigalskaya N.Yu., Bugaev A.V. 2023 a. Genetic characterization of juvenile chum salmon marked at Japanese hatcheries from trawl catches of monitoring surveys in 2016–2021 // Studies of Aquatic Biological Resources of Kamchatka and the Northwestern Part of the Pacific Ocean. V. 71. P. 47-59. DOI: 10.15853/2072-8212.2023.71.47-59. (In Russ.).
- Denisenko A.D., Zikunova O.V., Pilganchuk O.A., Savenkov V.V. 2023 b. Application of genetic identification results in assessing mortality of juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*) from Western Kamchatka based on materials from the 2018 autumn trawl survey // Modern Problems and Prospects for the Development of the Fisheries Complex. Proc. of the XI Intern. Scient. and Pract. Conf. of Young Scientists and Specialists. Moscow: VNIRO Publish. P. 75-77. (In Russ.).
- Denisenko A.D., Muravskaya U.O., Pilganchuk O.A., Shpigalskaya N.Yu., Savenkov V.V., Zikunova O.V. 2023 c. Assessment of the regional composition of mixed aggregations of juvenile chum salmon in the Okhotsk Sea based on genetic studies // Studies of Aquatic Biological Resources of Kamchatka and the Northwestern Part of the Pacific Ocean. V. 70. P. 5-26. DOI: 10.15853/2072-8212.2023.70.5-26. (In Russ.).
- Kositsyna A.I., Shpigalskaya N.Yu., Sergeev A.A., Soshnina V.A., Savenkov V.V., Denisenko A.D., Muravskaya U.O., Zelenina D.A. 2022. Genetic identification of juvenile pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) from the Okhotsk Sea basin based on restriction analysis of mitochondrial DNA and single-nucleotide polymorphism analysis // Studies of Aquatic Biological Resources of Kamchatka and the Northwestern Part of the Pacific Ocean. V. 66. P. 52-67. DOI: 10.15853/2072-8212.2022.66.52-67. (In Russ.).
- Maniatis T., Fritsch E., Sambrook J. 1984. Molecular Cloning: A Laboratory Manual. Moscow: Mir. 479 p. (Maniatis T., Fritsch E.F., Sambrook J. 1982. Molecular Cloning: A Laboratory Manual. Cold Spring Harbor. N. Y.)

REFERENCES

Bugaev A.V., Gerlits A.I. 2023. Characteristics of feeding migrations of hatchery-origin juvenile Pacific salmon

- Somov A.A., Shevlyakov E.A., Starovoitov A.N., Shevlyakov V.A., Dederer N.A., Melnikov I.V.* 2023. Prospects for pink salmon fishing in the Far Eastern regions of the Bering and Okhotsk Seas in 2023 based on the results of juvenile trawl surveys with the R/V TINRO and Professor Kaganovsky in autumn 2022 // Bulletin No. 17 on the Study of Pacific Salmon in the Russian Far East. Vladivostok: TINRO Publish. P. 87-100. DOI: 10.26428/losos_bull17-2023-87-100. (In Russ.).
- Chistyakova A.I., Bugaev A.V.* 2016. Assessment of the origin and migration routes of hatchery-origin juvenile pink and chum salmon in the Okhotsk Sea basin during the autumn period of 2011-2014 // Studies of Aquatic Biological Resources of Kamchatka and the Northwestern Part of the Pacific Ocean. V. 40. P. 5-23. DOI: 10.15853/2072-8212.2016.40.5-23. (In Russ.).
- Shpigalskaya N.Yu., Zelenina D.A., Pilganchuk O.A., Soshnina V.A., Muravskaya U.O., Denisenko A.D., Savenkov V.V., Bugaeva E.A.* 2023. Genetic identification of juvenile pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) of the odd-year brood line based on restriction analysis of mitochondrial DNA and single-nucleotide polymorphism analysis // Studies of Aquatic Biological Resources of Kamchatka and the Northwestern Part of the Pacific Ocean. V. 71. P. 5-22. DOI: 10.15853/2072-8212.2023.71.5-22. (In Russ.).
- Anderson E.C., Waples R.S., Kalinovski S.T.* 2008. An improved method for estimating the accuracy of genetic stock identification // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. V. 65 (7). P. 1475-1486. DOI: 10.1139/F08-049
- Buchholtz W.G., Miller S.J., Spearman W.J.* 2001. Isolation and characterization of chum salmon microsatellite loci and use across species // Animal Genetics. V. 32. № 3. P. 162-165. DOI: 10.1046/j.1365-2052.2001.0723b.x
- Gruber B., Adamack A.T.* 2015. Landgenreport: A new R function to simplify landscape genetic analysis using resistance surface layers // Mol. Ecol. Resour. V. 15(5). P. 1172-1178. DOI: 10.1111/1755-0998.12381
- Nelson R.J.D., Beacham T.D.*, 1999. Isolation and cross species amplification of microsatellite loci useful for study of Pacific salmon // Animal Genetics. V. 30. P. 228-229. DOI: 10.1046/j.1365-2052.1999.00404-4.x
- Olsen J.B., Bentzen P., Seeb J.E.*, 1998. Characterization of seven microsatellite loci derived from pink salmon // Molecular Ecology. V. 7. P. 1083-1090. PMID: 9711869
- Olsen J.B., Wilson S.L., Kretschmer E.J., Jones K.C., Seeb J.E.*, 2000. Characterization of 14 tetranucleotide microsatellite loci derived from sockeye salmon // Molecular Ecology. V. 9. P. 2185-2187. DOI: 10.1046/j.1365-294x.2000.105317.x
- Piry S., Alapetite A., Cornuet J.-M., Paetkau D., Baudouin L., Estoup A.* 2004. GeneClass2: A software for genetic assignment and first-generation migrant detection // Journal of Heredity. Vol. 95. P. 536-539. DOI: 10.1093/jhered/esh074
- Sambrook J., Fritsch E.F., Maniatis T.* 1989. Molecular Cloning: A Laboratory Manual. N.Y. Cold Spring Harbor Lab. Press. 1626 p.
- Sánchez J.A., Clabby C., Ramos D., Blanco G., Vazquez E., Powell R.* 1996. Protein and microsatellite single locus variability in *Salmo salar* L. (Atlantic salmon) // Heredity. V. 77. P. 423-432. DOI: 10.1038/hdy.1996.162
- Smith C.T., Koop B.F., Nelson R.J.*, 1998. Isolation and characterization of Coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) microsatellites and their use in other salmonids // Molecular Ecology. V. 7. P. 1613-1621. PMID: 9819912

Поступила в редакцию 04.12.2025 г.
Принята после рецензий 26.12.2025 г.



УДК 575.22

Промысловые виды и их биология

Апробация метода видовой идентификации тихоокеанских лососей р. *Oncorhynchus* по микросателлитным маркерам на рыбной продукции промышленного производства

А.Е. Лапшина¹, Д.А. Зеленина², Н.В. Колпаков¹

¹ Сахалинский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («СахНИРО»), ул. Комсомольская, 196, Южно-Сахалинск, 693023

² Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»), Окружной проезд, 19, Москва, 105187

E-mail: lapshinae@sakhniro.vniro.ru

SPIN-код: Лапшина А.Е. – 6972-5486; Зеленина Д.А. – 6220-3615; Колпаков Н.В. – 9889-6927

Цель работы: провести апробацию предложенной коллективом авторов под руководством Л.А. Животовского методики видовой идентификации тихоокеанских лососей рода *Oncorhynchus* по микросателлитным маркерам на рыбной продукции промышленного производства.

Материалы и методы: материалом для проведения исследования послужили образцы готовой продукции из тихоокеанских лососей, реализуемой в торговых точках острова Сахалин. Для контроля результатов микросателлитного анализа, видовую принадлежность исследуемых образцов проверяли с помощью ДНК-штрихкодирования.

Новизна: проведённые исследования показали применимость методики для определения видового происхождения различной продукции из тихоокеанских лососей: солёной, копчёной, вяленой, подвергшейся глубокой переработке (консервы), а также икры. Помимо этого, методика даёт возможность выявить видовой состав неструктурированной смеси (фарша и полуфабрикатов из него).

Результаты: успешно проведено видовое определение всех привлечённых к исследованию вариантов продукции из тихоокеанских лососей, включая продукцию глубокой переработки и смешанный фарш из нескольких видов рыб. Исключение составила продукция из радужной форели. Для наиболее ценных видов тихоокеанских лососей – нерки, симы, кижуча и чавычи – выявлен ряд случаев несоответствия принадлежности рыбной продукции заявленному продавцами виду. Интересно, что вся исследованная продукция из чавычи оказалась радужной форелью, и выявленная у неё триплоидность указывает на аквакультурное происхождение этих рыб.

Практическая значимость: в отличие от широко используемого ДНК-штрихкодирования, микросателлитный анализ применим для исследования практически всех возможных типов продукции из тихоокеанских лососей рода *Oncorhynchus* поскольку позволяет проводить детекцию образцов, содержащих сильно фрагментированную ДНК, а также смесь ДНК разных видов, что делает данный подход перспективным для применения в генетических лабораториях, осуществляющих анализ рыбной продукции.

Ключевые слова: микросателлитный анализ, ДНК-штрихкодирование, видовое определение, продукция из тихоокеанских лососей, фальсификат.

Evaluating a method for identifying Pacific salmon of the genus *Oncorhynchus* using microsatellite markers in industrial fish products

Anna E. Lapshina¹, Daria A. Zelenina², Nikolai V. Kolpakov¹

¹ Sakhalin branch of VNIRO («SakhNIRO»), 196, Komsomolskaya, Yuzhno-Sakhalinsk, 693023, Russia

² Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), 19, Okruzhnoy proezd, Moscow, 105187, Russia

The goal of this study is to assess a method for identifying salmon of the genus *Oncorhynchus* using microsatellite markers developed by a team led by L.A. Zhivotovsky. This method was applied to fish products intended for commercial sale.

Materials and Methods: The study utilized samples of processed salmon products available at retail outlets on Sakhalin Island. To verify microsatellite analysis, the species identity of the samples was confirmed using DNA barcoding.

Novelty: The studies conducted have shown that the method is effective in determining the species origin of various salmon products, including salted, smoked, dried, highly processed items (such as canned salmon) and caviar. Additionally, this method can identify the species composition of unstructured mixtures, such as minced meat and its semi-finished products.

Results: we successfully identified the species of all commercially produced Pacific salmon products analyzed in this study, including highly processed items and mixed minced meat from multiple fish species. However, we encountered difficulties with mislabeled rainbow trout products. We found several cases where the fish products did not match the species indicated by the sellers. This discrepancy was most notable among the valuable Pacific salmon species: sockeye salmon, masu salmon, coho salmon, and chinook salmon. It is important to highlight that all the chinook salmon products tested were found to be rainbow trout, and the triploidy detected in these samples suggests their origin is from aquaculture.

Practical significance: unlike the commonly used DNA barcoding method, microsatellite analysis can be applied to a wide range of products from Pacific salmon of the genus *Oncorhynchus*. This approach is particularly advantageous because it can detect samples with highly fragmented DNA as well as mixtures of DNA from different species. Therefore, microsatellite analysis shows promise for use in genetic laboratories that are analyzing fish products.

Keywords: microsatellite analysis, DNA barcoding, species identification, salmon products, mislabeled products.

ВВЕДЕНИЕ

ДНК-штрихкодирование (ДНК-баркодинг) прочно лидирует среди генетических методов видовой определения живых организмов в течение последних двух десятилетий. Годом его официального рождения можно считать 2003 год, когда была опубликована статья «Biological identifications through DNA barcodes» [Hebert et al., 2003], в которой было предложено использовать для видовой определения фрагмент последовательности митохондриального гена цитохромоксидазы I (COI) длиной около 650 п. н. Универсальность метода быстро и заслуженно привела к его массовому распространению.

Тем не менее, ДНК-баркодинг имеет и ряд ограничений в применении. Так, определяя вид с его помощью, невозможно, вследствие низкой внутривидовой изменчивости по локусу цитохромоксидазы I, узнать, принадлежат ли исследуемые образцы одной особи или нескольким [Rasmussen et al., 2009]. Фрагмент гена COI достаточной для определения вида длины не всегда удаётся получить из термически обработанной продукции, и тем более – из продукции глубокой переработки. Также не подходит данный метод и в случае, если исследуемый образец представлен неструктурированной смесью (фаршем) из представителей разных видов. В вышеперечисленных случаях анализ микросателлитных маркеров (или STR-маркеров; от англ. *Short tandem repeats*) оказывается более информативным.

В 2013 г. Л.А. Животовский, Е.Г. Шайхаев и М.В. Шитова опубликовали работу «Идентификация лососевых рыб по микросателлитным маркерам с использованием идентичного набора ПЦР-праймеров». Авторы предложили способ идентификации десяти видов лососевых, опробованный ими на биологических тканях рыб, не подвергавшихся промышленной переработке. Однако часто именно промышленная пере-

работка становится фактором, затрудняющим видовую идентификацию без привлечения молекулярно-генетических исследований. В этой связи мы сочли целесообразным апробировать данный метод на рыбной продукции промышленного производства, изготовленной различными способами, с целью выяснения возможности его применения в каждом случае. Для подтверждения достоверности полученных результатов каждый образец был также подвергнут ДНК-штрихкодированию.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Нами были проанализированы шесть образцов готовой продукции из кеты (*Oncorhynchus keta* (Walbaum, 1792)), включая икру, пять образцов продукции из горбуши (*O. gorbuscha* (Walbaum, 1792)), включая икру, шесть образцов продукции из нерки (*O. nerka* (Walbaum, 1792)), четыре образца продукции из кижуча (*O. kisutch* (Walbaum, 1792)), три образца продукции из чавычи (*O. tshawytscha* (Walbaum, 1792)), четыре образца продукции под неопределённым названием «Лосось», а также один образец сырого фарша промышленного производства, заявленный производителем как «Фарш из лососевых рыб». Таким образом, для осуществления молекулярно-генетического анализа была использована продукция промышленного производства из лососевых видов рыб, наиболее часто встречающаяся в торговых точках о. Сахалин. Аналогичному анализу были подвергнуты контрольные образцы биологических тканей горбуши, кеты, кижуча, сима (*O. masou* (Brevoort, 1856)), нерки и чавычи, представляющие собой фиксированные в 96%-ном этаноле фрагменты плавников, из «Биоресурсной коллекции эталонных генетических образцов водных биологических ресурсов (раздел лососевые) ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» (УНУ «Биоресурсная коллекция ВБР ФГБНУ ВНИРО»).

Выделение и очистку ДНК осуществляли методом адсорбции на микроколонках AcroPrep™ 96 filter plate, 1 mL – 1.0 µm, glass fiber media (PALL, США) в соответствии с [Ivanova et al., 2006].

Микросателлитный анализ проводили по панели из 8 локусов, предложенной Животовским с соавторами [2013] для межвидовой дифференциации тихоокеанских лососей рода *Oncorhynchus*. В рамках данной работы праймеры были модифицированы путём присоединения флуоресцирующих меток. Амплификацию каждого локуса производили независимо, в дальнейшем смешивая ПЦР-продукты с метками разных цветов (по 4 в каждой микропробирке) в деионизированном формамиде перед загрузкой в генетический

плавление 92 °С – 10 с, отжиг праймеров 54 °С в первом цикле – 30 с, синтез ДНК 72 °С – 10 с; синтез ПЦР-продуктов (20 циклов): плавление 92 °С – 10 с, отжиг праймеров 56 °С – 30 с, синтез ДНК 72 °С – 10 с; окончательная достройка цепей: 72 °С – 5 мин. [Сошникова, Зеленина, 2023]. Данный протокол описывает так называемую ступенчатую ПЦР (touchdown PCR), и в данном случае он был удобен, так как позволял осуществлять одновременную амплификацию всех 8 локусов в одном 96-луночном планшете (12 образцов/8локусов).

Электрофоретическое разделение продуктов амплификации проводили посредством капиллярного электрофореза в генетическом анализаторе «НАНО-

Таблица 1. Праймерные последовательности для STR-анализа [Животовский и др., 2013] и выполненные нами модификации прямых праймеров

Table 1. Primer sequences for STR analysis [Zhivotovsky et al., 2013]

№ п/п	Локус	Последовательности праймеров	Флуоресцентная модификация F-праймера	Лит. источник
1	OtsG68	F: 5'-TATGAACTGCAGCTTGTATGTTAGTTTG-3' R: 5'-CATGTCGGCTGCTCAATGTATAA-3'	FAM	Williamson et al., 2002
2	Ots102	F: 5'-GGATCCAATAAGGAGTGATATAGTAG-3' R: 5'-TATCCCCTTTACCATTTCCTTGCTA-3'	FAM	Nelson, Beachem, 1998
3	One103	F: 5'-AATGTTGAGAGCTATTTCAATCC-3' R: 5'-GATTGATGAATGGGTGGG-3'	TAMRA	Olsen et al., 2000
4	One109	F: 5'-GAGAGGGGAGAGAGTGTCTTTG-3' R: 5'-GTAGCATCAGCTCACTAATGGGAT-3'	TAMRA	
5	OMM1037	F: 5'-GAACGGCGACTGGATTTAATACT-3' R: 5'-CCGCTCACCCCTCGTCTCTTAA-3'	ROX	Rexroad III et al., 2002
6	OMM1050	F: 5'-ACCAACTGAACACAGCCTAAT-3' R: 5'-GCTGTAACATTTACAGGGATCAT-3'	ROX	
7	Oki10	F1: 5'-GAGTGCTGGACAGATTGGATT-3' R1: 5'-GGGAGCTACAGCTTTTACAAATC-3'	R6G	Smith et al., 1998
8	Ssa197	F: 5'-GGGTTGAGTAGGGAGGCTTG-3' R: 5'-TGGCAGGGATTTGACATAAC-3'	R6G	O'Reilly et al., 1997

анализатор. Последовательности праймеров приведены в табл. 1.

Реакция амплификации проводилась в конечном объеме 10 мкл [67 мМ Трис-НСl (рН 8,8), 16,6 мМ (NH₄)₂SO₄, 2,5 мМ MgCl₂, 0,6 мМ dNTP, по 2 пМ каждого праймера, около 100 нг ДНК и 0,5 ед. Taq-полимеразы (Диалат)]. Для осуществления амплификации был применён следующий протокол ПЦР: предварительная денатурация ДНК 95 °С – 2 мин; синтез ПЦР-продуктов (30 циклов, в каждом из которых температура отжига праймеров снижалась на 0,2 °С): плавление 92 °С – 10 с, отжиг праймеров 60 °С в первом цикле – 30 с, синтез ДНК 72 °С – 10 с; синтез ПЦР-продуктов (10 циклов, в каждом из которых температура отжига праймеров повышалась на 0,2 °С):

ФОР 05» (Синтол, Россия), с применением маркеров молекулярного веса СД-450 и СД-600 (Синтол, Россия). Определение длин аллелей и генотипирование осуществляли с использованием программного обеспечения GeneMarker v.3.0.1 (SoftGenetics LLC)¹.

Полимеразную цепную реакцию (ПЦР) в рамках ДНК-штрихкодирования осуществляли в конечном объеме 20 мкл [67 мМ Трис-НСl (рН 8,8), 16,6 мМ (NH₄)₂SO₄, 2,5 мМ MgCl₂, 0,6 мМ dNTP, 5 пМ каждого праймера, около 100 нг ДНК и 0,5 ед. Taq-полимеразы (Диалат)] в амплификаторе T100 (Bio-Rad, США) по следующей схеме: предварительная денатурация ДНК

¹ GeneMarker software. <https://www.softgenetics.com/products/genemarker/> 30.11.2025

Таблица 2. Набор праймеров проведения ДНК-штрихкодирования рыб [Ivanova et al., 2007]

Table 2. Primer set for fish DNA barcoding [Ivanova et al., 2007]

№ п/п	Локус	Последовательности праймеров	
1	VF2	TGTA AACGACGGCCAGTCAACCAACCACAAAGACATTGGCAC	
2	FishF2	TGTA AACGACGGCCAGTCGACTAATCATAAAGATATCGGCAC	Ward et al., 2005
3	FishR2	CAGGAAACAGCTATGACACTTCAGGGTGACCGAAGAATCAGAA	
4	FR1d	CAGGAAACAGCTATGACACCTCAGGGTGTCCGAARAAYCARAA	Ivanova et al., 2007
5	M13F	TGTA AACGACGGCCAGT	
6	M13R	CAGGAAACAGCTATGAC	Messing, 1983

95 °C – 2 мин.; синтез ПЦР-продуктов – 35 циклов (плавление 92 °C – 20 с, отжиг праймеров 48 °C – 30 с, синтез ДНК 72 °C – 1,5 мин.); окончательная достройка цепей: 72 °C – 10 мин. Для осуществления ПЦР использовали набор из четырёх праймеров [Ivanova et al., 2007] (табл. 2, №№ 1-4).

Результаты амплификации проверяли в 2%-ном агарозном геле.

Реакцию секвенирования проводили с использованием коммерческого набора Brilliant Dye Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit (Nimagen, Нидерланды) по следующей схеме: предварительная денатурация ДНК 96 °C – 3 мин.; синтез ПЦР-продуктов – 40 циклов (плавление 94 °C – 10 с, отжиг праймеров 52 °C – 15 с, синтез ДНК 60 °C – 2,0 мин.). Для осуществления реакции секвенирования в каждую сторону использовали один из праймеров M13F или M13R (табл. 2, №№ 5-6).

Определение нуклеотидных последовательностей осуществляли на генетическом анализаторе «НАНО-ФОР-05». Хроматограммы анализировали в программе Mutation Surveyor v5.2.0.² Полученные последовательности сравнивали с уже имеющимися в международной системе Genbank с помощью биоинформатического инструмента Nucleotide BLAST³.

Байесовский кластерный анализ осуществляли в программе STRUCTURE 2.3.4 [Pritchard et al., 2000] при предполагаемом количестве генетически отличающихся групп (K) от 1 до 10.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

STR-анализ по всем предложенным Л.А. Животовским с соавторами [2013] локусам был успешно

осуществлён как для всех образцов продукции из тихоокеанских лососей, так и для контрольных образцов. Границы вариабельности размеров аллелей представлены в табл. 3, результаты апробации данного метода на продукции промышленного производства – в табл. 4.

В ряде случаев размеры аллелей вышли за указанные границы вариабельности (в табл. 3 и 4 они выделены полужирным шрифтом). Это объясняется тем, что в случае с каждым из исследованных видов авторы методики использовали для анализа рыбу из какой-либо одной реки. Так, вся исследованная ими кета была выловлена в р. Камчатка, горбуша – в р. Курилка, о. Итуруп и т. д., то есть, авторы не ставили цель охватить все возможные варианты размеров аллелей, встречающиеся по Дальнему Востоку, для каждого из видов. В этой связи появление дополнительных аллельных вариантов у рыб, выловленных в других районах или регионах, вполне закономерно.

Ещё одна причина появления дополнительных аллельных вариантов может заключаться в том, что авторы методики осуществляли анализ микросателлитных фрагментов, разделяя их в блоке неденатурирующего акриламидного геля, тогда как мы использовали для этих целей капиллярный электрофорез предварительно денатурированной ДНК. Как было показано ранее, при сравнении результатов STR-анализа, полученных при помощи генетического анализатора, с данными электрофореза в блоке полиакриламидного геля, могут наблюдаться небольшие расхождения в данных [Zelenina et al., 2005; Рубцова и др., 2016]. Результаты STR-анализа были успешно подтверждены ДНК-штрихкодированием во всех случаях, где применение этого метода было возможно. Штрихкодирование оказалось неуспешным в случае с консервированной продукцией и икрой. Очень важным является факт, что описанный анализ эффективен в случаях, когда баркодинг невозможен из-за сильной фрагментации ДНК ввиду глубокой переработки, как, например, в случае с консервированной продук-

² The Basic Local Alignment Search Tool (BLAST) https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi?PROGRAM=blastn&BLAST_SPEC=GeoBlast&PAGE_TYPE=BlastSearch 30.11.2025

³ Mutation Surveyor® DNA Variant Analysis Software. <https://www.softgenetics.com/products/mutation-surveyor/> 30.11.2025. The Basic Local Alignment Search Tool (BLAST) https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi?PROGRAM=blastn&BLAST_SPEC=GeoBlast&PAGE_TYPE=BlastSearch 30.11.2025

Таблица 3. Диапазоны размеров аллелей, п.н, согласно [Животовский и др., 2013], расширенные по результатам данной работы

Table 3. Variability of allele sizes, bp, according to [Zhivotovsky et al., 2013]

Вид	Локус							
	OMM1050	One109	Ssa197	One103	OMM1037	Ots102	OtsG68	Oki10
Кета	155- 159*	93-137	125-131	114-154	169-177	148-208	166-298	98-246
Горбуша	139	109-177	123-187	178-286- 294	173-185	224-392	138-222- 236	182-298
Нерка	152	105-149	105 -107	278-326	205-213	314	125-137	218-298
Кижуч	160-164	85	109	98-102- 106	189-193	148	170-270	102-178
Чавыча	152	89	171-291	102-110	185-193	194-330	187-255	170-342
Сима	177-317	81-109	101-125	106-142	177-209	116-224	120-212	94-194
Микижа	161-185	89	109-113	102-110	209-253	487-507	174-206	102-158
Радужная форель	167-259	89-101	105-127	106-150	193-257	350-516	164-260	110-138

Примечание. * полужирным шрифтом выделены наши данные.

Таблица 4. Результаты STR-анализа и ДНК-штрихкодирования образцов продукции из тихоокеанских лососей промышленного производства

Table 4. The results of STR analysis and DNA barcoding of industrial Pacific salmon products

№	Наименование продукта	Локусы																Вид; STR-анализ	Вид; баркодинг
		OMM1050	One109	Ssa197	One103	OMM1037	Ots102	OtsG68	Oki10										
Аллельные варианты, п. н.																			
1	Солёная горбуша в масле	139	139	125	137	145	157	234	294	173	177	254	254	152	168	246	246	Горбуша	Горбуша
2	Горбуша юкола	139	139	141	145	133	165	214	250	173	177	310	338	148	164	214	250	Горбуша	Горбуша
3	Горбуша в соевом соку, конс.	139	139	141	141	127	165	230	246	173	173	326	350	156	168	202	202	Горбуша	Не определён
4	Горбуша в томатном соусе, конс.	139	139	109	113	131	145	214	218	173	173	236	236	204	236	182	182	Горбуша	Не определён
5	Икра горбуши солёная *	139	139	117-145 (5)	141-161 (5)	198	238	173	181	350	354	164-172 (3)	186	186	Горбуша	Не определён	Горбуша	Не определён	
6	Горбуша, контроль	139	139	129	141	157	157	230	234	173	173	326	326	152	168	214	214	Горбуша	Горбуша
7	Кета холодного копчения	155	155	117	137	127	127	122	122	173	173	194	194	220	276	162	202	Кета	Кета
8	Кета горячего копчения	155	155	129	129	127	131	114	138	169	169	158	198	228	236	230	238	Кета	Кета
9	Кета вяленая	155	155	109	121	131	131	154	154	169	173	194	206	224	224	154	154	Кета	Кета
10	Юкола из кеты	155	155	109	125	127	131	114	146	169	173	176	204	176	204	182	198	Кета	Кета
11	Кета в соевом соку, конс.	155	159	117	121	127	127	114	142	169	169	206	206	168	172	134	138	Кета	Не определён
12	Икра кеты солёная	155	155	105	105	127	131	154	154	169	177	152	202	196	200	110	110	Кета	Не определён
13	Кета, контроль	155	155	105	125	131	131	122	154	169	173	154	158	194	194	218	222	Кета	Кета
14	Кижуч вяленый	155	155	109	117	131	131	138	150	169	173	194	194	168	220	162	170	Кета	Кета
15	Кижуч вяленый	155	155	105	117	127	127	130	146	169	173	194	206	168	232	162	234	Кета	Кета
16	Кижуч вяленый	160	164	85	85	109	109	106	106	189	189	148	148	186	270	118	130	Кижуч	Кижуч
17	Кижуч холодного копчения	155	155	117	127	127	131	138	142	169	169	206	206	168	276	182	182	Кета	Кета
18	Кижуч, контроль	160	160	85	85	109	109	102	106	189	189	148	148	182	270	130	146	Кижуч	Кижуч
19	Лосось слабосолёный	139	139	137	145	145	161	234	254	173	181	338	338	152	164	182	194	Горбуша	Горбуша

№	Наименование продукта	Локусы																Вид; STR-анализ	Вид; баркодинг
		OMM1050	One109	Ssa197	One103	OMM1037	Ots102	OtsG68	Oki10	Аллельные варианты, п. н.									
20	Лосось слабосоленый	293	293	97	97	115	125	126	126	189	193	194	202	128	164	138	178	Сима	Сима
21	Лосось вяленый	139	139	137	149	137	165	238	282	173	181	354	366	156	164	182	182	Горбуша	Горбуша
22	Лосось холодного копчения	279	279	89	101	115	123	114	118	185	189	206	222	128	148	146	154	Сима	Сима
23	Сима, контроль	249	249	89	97	115	123	114	118	189	189	224	224	128	152	138	150	Сима	Сима
24	Нерка копчено-вяленая	152	152	109	145	107	107	322	322	209	213	314	314	132	132	230	262	Нерка	Нерка
25	Юкола из нерки	152	152	113	113	107	107	278	290	205	205	314	314	132	136	258	290	Нерка	Нерка
26	Филе нерки под-копченное	152	152	133	137	107	107	278	306	205	205	314	314	132	132	238	270	Нерка	Нерка
27	Нерка солёная **	205	205	89	93	111-127 (3)		114	118	193	217	436-496 (3)		260	260	114-138 (3)		Не определен	Радужная форель
28	Нерка вяленая	152	152	125	129	107	107	278	320	205	213	314	314	136	136	266	266	Нерка	Нерка
29	Нерка в собств. соку, конс.	164	164	85	85	105	109	102	106	189	189	148	148	204	204	122	170	Кижуч	Не определен
30	Нерка, контроль	152	152	141	149	107	107	322	322	205	213	314	314	132	136	230	230	Нерка	Нерка
31	Чавыча вяленая **	191-227 (3)		89	89	105	111	114	114	217	257	504	504	204	204	110-126 (3)		Не определен	Радужная форель
32	Чавыча вяленая **	167-231 (3)		89	89	109	113	106-150 (3)		237	237	350	516	168	168	114	134	Не определен	Радужная форель
33	Чавыча соленая **	167-259 (3)		89-101 (3)		109	113	106-150 (3)		233	237	496	504	164	164	114-134 (3)		Не определен	Радужная форель
34	Чавыча контроль	152	152	89	89	269	269	106	110	185	185	214	214	196	212	290	298	Чавыча	Чавыча
35	Фарш из лососевых рыб ***	139	155	97-165 (17)		127	131	114-254 (25)		173	173	194-206 (3)		140-208 (19)		126-282 (28)		Кета, горбуша	Не определен

Примечание. Если аллельных вариантов в образце по определённому локусу оказалось больше двух, в соответствующей ячейке через дефис обозначены аллели с минимальным и максимальным размерами, а в круглых скобках – общее число выявленных аллелей.

* в образце икры горбуши (№ 5) имеется до пяти аллельных вариантов по исследованному локусам, так как ДНК для анализа была выделена из нескольких икринок;

** у радужной форели три аллельных варианта по целому ряду локусов характерны для триплоидных аквакультурных форм (№№ 27, 31-33);

*** в образце «фарш из лососевых рыб» (№ 35) некоторые аллельные варианты закономерно исчисляются десятками, поскольку фарш изготовлен из большого числа экземпляров кеты и горбуши и гомогенизирован.

цией. Ещё одним очевидным плюсом метода является возможность определения видового состава неструктурированной смеси (фарша) из нескольких видов. Стандартная процедура баркодинга в этих случаях неприменима, и для генетической идентификации обычно используют метод ПЦР-РВ [Кузнецов и др., 2025; Шайдуллин и др., 2025] или секвенирование нового поколения – NGS [Фомина и др., 2022]. Оба метода требуют дополнительной приборной базы, и к тому же стоимость NGS-анализа существенно превышает такую у остальных.

Отдельного внимания заслуживают образцы, определить видовую принадлежность которых по микросателлитам оказалось невозможно, так как размерные варианты аллелей не попадали в предложен-

ные авторами диапазоны (табл. 3). ДНК-баркодинг показал, что все они принадлежат камчатской микиже (*O. mykiss* (Walbaum, 1792)) или её жилой форме – радужной форели. Хотя результаты только STR-анализа в данном случае не позволили осуществить видовую идентификацию, именно он выявил триплоидность данных рыб (рис. 1), проявившуюся в целом ряде локусов, что вкупе с результатами баркодинга позволяет отнести данные образцы к радужной форели аквакультурного происхождения.

Несмотря на то, что Л.А. Животовский с соавторами [2013] в своей работе указывают границы вариабельности длин аллелей для дикой камчатской микижи, в данном случае они оказались вне указанного диапазона, так как аквакультурная радужная форель

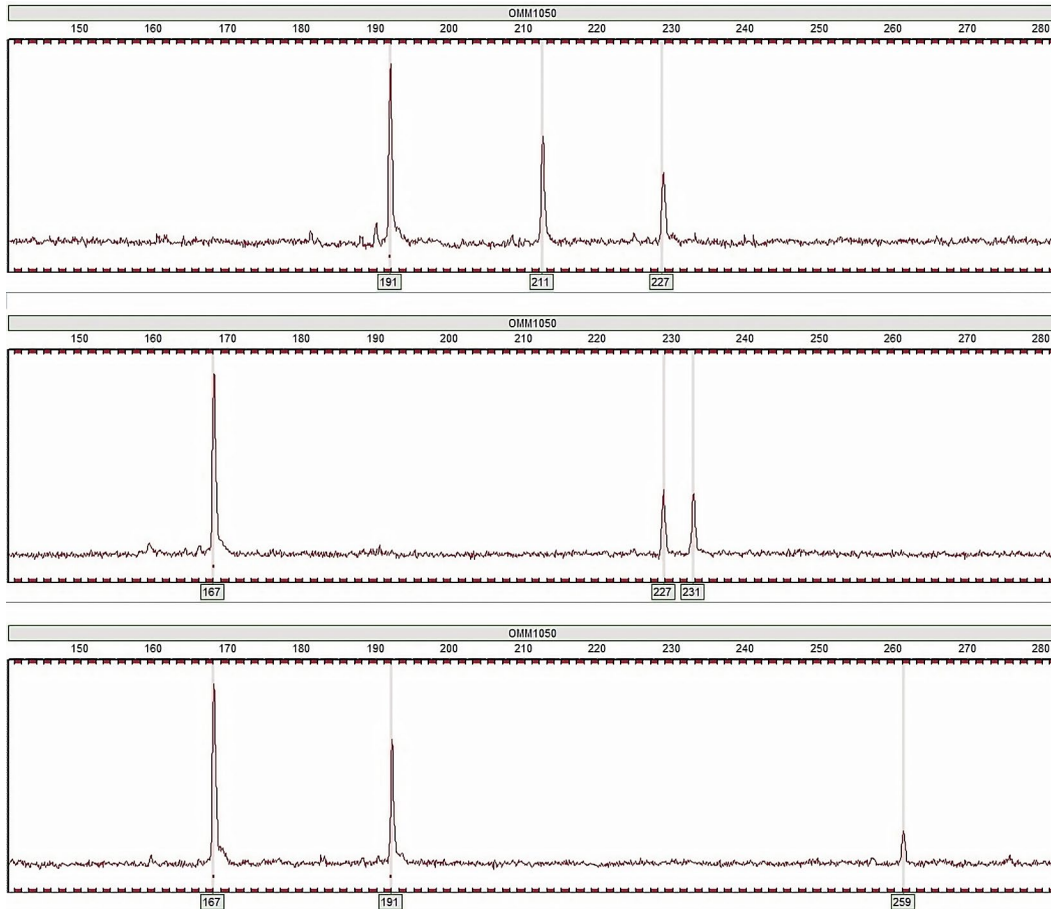


Рис. 1. Лocus OMM1050, радужная форель. Образцы 31-33 сверху вниз
Fig. 1. Locus OMM1050, rainbow trout. Samples 31-33 from top to bottom

имеет североамериканское, а не азиатское происхождение.

Апробированный метод позволил выявить небольшое количество фальсифицированных продуктов среди исследованных образцов (в табл. 4 название продукции выделено полужирным шрифтом). Фактически, фальсификат отсутствует лишь в продукции из горбуши и кеты – основных объектов промышленного вылова среди лососевых в Сахалинской области. Под неопределённым названием «Лосось» (или «Лосось вишнёвый») в торговых точках региона подразумевается сима, промышленный вылов которой запрещён, однако и среди четырёх образцов «лосося» два оказались принадлежащими горбуше.

Байесовский кластерный анализ, выполненный в программе STRUCTURE, показал, что применение тестируемой панели микросателлитных маркеров позволяет наиболее надёжно идентифицировать четыре самых массовых вида тихоокеанских лососей: горбушу (образцы 1-6, 19, 21), кету (7-15, 17), нерку (24-26, 28, 30) и кижуча (16, 18, 29): при $K=5$ образцы продукции каждого из этих видов формируют свой кластер,

в то время как образцы иной видовой принадлежности не дифференцируются и образуют единую группу. Следует подчеркнуть, что речь в данном случае идёт не о заявленной видовой принадлежности образцов, но о реальной. Увеличение количества предполагаемых кластеров до $K=7$ обеспечивает дальнейшее разделение, в результате которого внутри гомогенной ранее группы выделяются образцы сими (20, 22, 23), чавычи (34) и, с определёнными допущениями, радужной форели: два из четырёх образцов этого вида (32, 33) формируют свой кластер, в то время, как видовой принадлежность двух других (27, 31) неоднозначна.

Фальсификация продукции из лососевых видов рыб с заменой более дорогих видов на более дешёвые, а также рыб естественного происхождения – на аквакультурных, является достаточно распространённой не только в России. Так, коллектив авторов [García et al., 2024] описывает аналогичную ситуацию в Сиэтле, проанализировав посредством ДНК-баркодирования товары и блюда из лососей в суши-ресторанах и продуктовых магазинах. Имеется информация о фальсификации продукции из лососевых рыб в 10

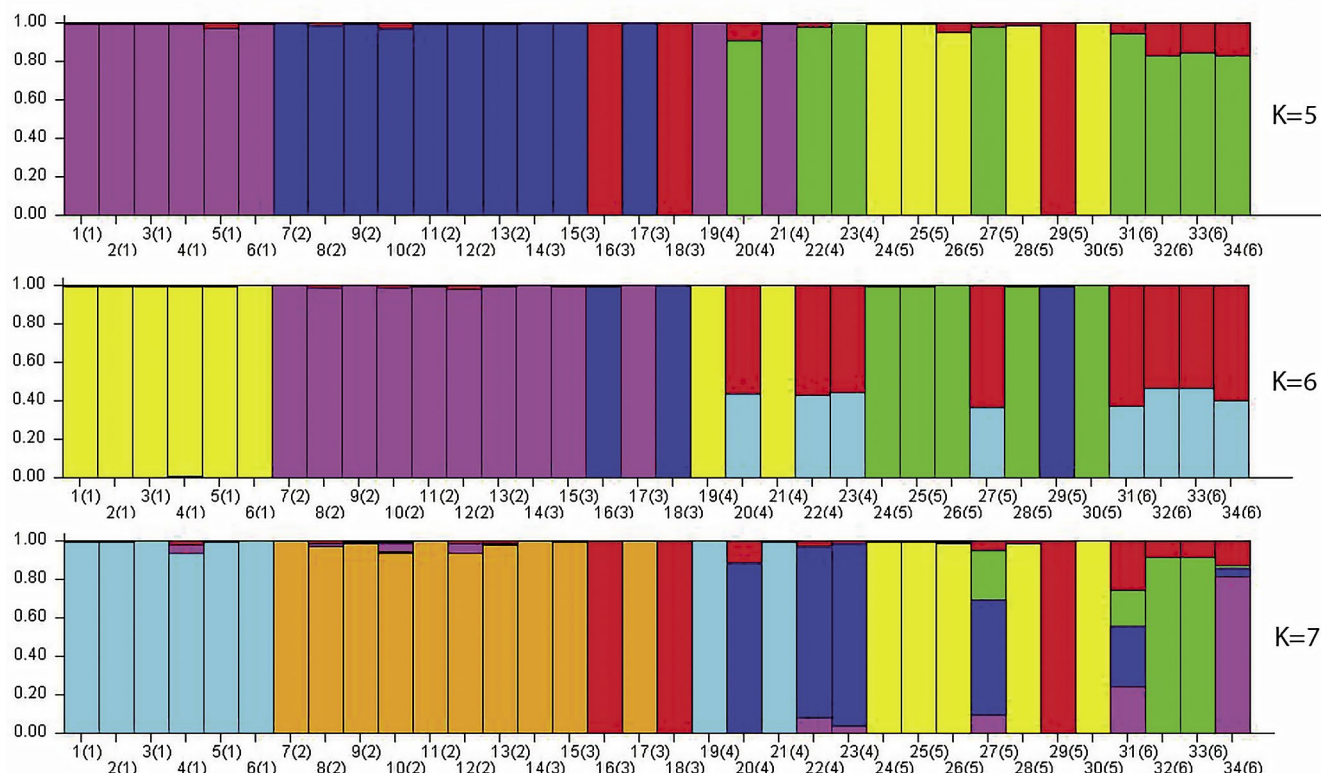


Рис. 2. Вероятность индивидуальной принадлежности 34 образцов тихоокеанских лососей к каждому из предполагаемых генетических кластеров, рассчитанная в программе STRUCTURE. Количество кластеров (K) указано справа от диаграмм. Номера образцов под диаграммами указаны в соответствии с табл. 4

Fig 2. The probability of 34 Pacific salmon samples belonging to each of the putative genetic clusters, calculated using the STRUCTURE program. The number of clusters (K) is indicated to the right of the diagrams. Sample numbers below the bar-plots are in concordance with Table 4

городах Чили, полученная в результате анализа полиморфизма длин рестрикционных фрагментов [Prida et al., 2020]. Также описаны масштабы фальсификации рыбной продукции в целом в США [Kroetz et al., 2020; Ahles, 2025] и в Европе [Mariani, 2015]. Часто выявить фальсификат без использования молекулярно-генетического анализа невозможно, и в этой связи разработка недорогих методов видовой идентификации имеет особое значение, поскольку делает саму идентификацию более доступной. STR-анализ продукции из тихоокеанских лососей может занять достойное место среди иных методов видового определения и быть востребованным ввиду широкого распространения таковой продукции как в России, так и за её пределами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методика видовой идентификации тихоокеанских лососей посредством STR-анализа подходит для определения состава продукции из тихоокеанских лососей. В случае, когда в качестве фальсификата выступает радужная форель, для выяснения видовой принадлежности образца необходимо привлечение до-

полнительных генетических методов видовой идентификации.

Помимо этого, методика подходит для выяснения видового состава неструктурированных смесей из тихоокеанских лососей (фарша или полуфабрикатов из него), консервированной продукции и икры, что позволяет существенно снизить стоимость анализов этих видов продукции за счёт отказа от более дорогих методов видового определения в пользу анализа микросателлитных маркеров.

Благодарности

Авторы выражают искреннюю благодарность за содействие в проделанной работе коллегам: Л.Н. Мюге, В.А. Сошниковой (ВНИРО), Е.В. Галаниной и Д.В. Беспалову (СахНИРО).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

Финансирование

Работа выполнена в рамках бюджетного финансирования Сахалинского филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»

ЛИТЕРАТУРА

- Животовский Л.А., Шайхаев Е.Г., Шитова М.В. 2013. Идентификация биологических образцов лососевых рыб по микросателлитным маркерам с использованием идентичного набора ПЦР-праймеров // Биология моря. Т. 39. № 6. С. 459-466. ISSN: 0134-3475
- Кузнецов А.В., Царин С.А., Самотой Ю.В., Курпиченко С.А., Метелева Д.В., Пасеин С.Н. 2025. Генетическая экспертиза лососевых рыб из консервов // Новые технологии в медицине, биологии, фармакологии и экологии. Мат. Межд. конф. М.: ИИТ. С. 227-233. DOI 10.47501/978-5-6044060-5-2.227-233
- Рубцова Г.А., Пономарева Е.В., Афанасьев К.И., Шайхаев Е.Г., Холодова М.В., Павлов С.Д., Животовский Л.А. 2016. Выявление аллельных вариантов микросателлитных маркеров методами капиллярного и традиционного электрофореза // Генетика. Т. 52. № 4. С. 482-487. DOI 10.7868/S0016675816040081
- Сошнина В.А., Зеленина Д.А. 2023. Популяционно-генетическое разнообразие кижуча (*Oncorhynchus kisutch* Walbaum) на азиатской части ареала по результатам анализа микросателлитных локусов // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. № 71. С. 23-33. DOI 10.15853/2072-8212.2023.71.23-33
- Тыщенко В.И., Терлецкий В.П. 2021. *Oncorhynchus mykiss* в аквакультуре: биотехнологические и генетические основы разведения и селекции // Международный научно-исследовательский журнал. № 7-1 (109). С. 141-144. DOI 10.23670/IRJ.2021.109.7.024
- Фомина Т.А., Кулешова М.Г., Минаев М.Ю., Коноров Е.А. 2022. Идентификация видов рыбы с помощью технологии секвенирования нового поколения (NGS) // Пищевые системы. Т. 5. № 2. С. 80-93. DOI 10.21323/2618-9771-2022-5-2-80-93
- Шайдуллин Р.Р., Тюлькин С.В., Гилемханов И.Ю., Садриев А.Р. 2025. Видовая идентификация мясной продукции методом ПЦР // Ученые записки Казанской академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. Т. 261. № 1. С. 261-267. DOI 10.31588/2413_4201_1883_1_261_261
- Ahles S., Mireles DeWitt C.A., Hellberg R.S. 2025. A meta-analysis of seafood species mislabeling in the United States // Food Control. V. 171. DOI 10.1016/j.foodcont.2024.111110
- Garcia J.L., Gaspar Y.A., Djekoundade A., Dalere M., Al-awadi A.A., Allosogbe M. et al. 2024. Fishy business in Seattle: Salmon mislabeling fraud in sushi restaurants vs grocery stores // PLoS ONE. V. 19. N 11. DOI 10.1371/journal.pone.0311522
- Hebert P.D.N., Cywinska A., Ball S.L. 2003. Biological identifications through DNA barcodes // Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences. V. 270. N 1512. P. 313-321. DOI 10.1098/rspb.2002.2218.
- Ivanova N.V., de Waard J., Hebert P.D.N. 2006. An inexpensive, automation-friendly protocol for recovering high-quality DNA // Molecular Ecology Notes. V. 6. P. 998-1002. DOI 10.1111/j.1471-8286.2006.01428.x
- Ivanova N.V., Zemlak T.S., Hanner R.H., Hebert P.D.N. 2007. Universal primer cocktails for fish DNA barcoding // Molecular Ecology Notes. V. 7. N 4. P. 544-548. DOI 10.1111/j.1471-8286.2007.01748.x
- Kroetz K., Luque G.M., Gephart J.A., Donlan C.J. 2020. Consequences of seafood mislabeling for marine populations and fisheries management // Proceedings of the National Academy of Sciences. V. 117. N 48. P. 30318-30323. DOI 10.1073/pnas.2003741117
- Mariani S., Griffiths A.M., Velasco A., Kappel K. 2015. Low mislabeling rates indicate marked improvements in European seafood market operations // Frontiers in Ecology and Environment. V. 13. N 10. P. 536-540. DOI 10.1890/150119
- Messing J. 1983. New M13 vectors for cloning // Methods in Enzymology. N. 101. P. 20-78. DOI 10.1016/0076-6879(83)01005-8
- Nelson R.J., Beacham T.D. 1999. Isolation and cross species amplification of microsatellite loci useful for study of Pacific salmon // Animal Genetics. V. 30. P. 228-229. DOI 10.1046/j.1365-2052.1999.00404-4.x
- Olsen J.B., Wilson S.L., Kretschmer E.J., Jones K.C., Seeb J.E. 2000. Characterization of 14 tetranucleotide microsatellite loci derived from sockeye salmon // Molecular Ecology. V. 9. P. 2185-2187. DOI 10.1046/j.1365-294x.2000.105317.x
- O'Reilly P.T., Hamilton L.C., McConnell S.K., Wright J.M. 1996. Rapid analysis of genetic variation in Atlantic Salmon (*Salmo salar*) by PCR multiplexing of dinucleotide and tetranucleotide microsatellites // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. V. 53. N. 10. P. 2292-2298. DOI 10.1139/f96-192
- Prida V., Sepúlveda M., Quezada-Romegialli C., Harrod C., Gomez-Uchida D., Cid B., Canales-Aguirre C.B. 2020. Chilean salmon sushi: genetics reveals product mislabeling and a lack of reliable information at the point of sale // Foods. V. 9. N 11. DOI 10.3390/foods9111699
- Pritchard J.K., Stefens M., Donnelly P. 2000. Inference of population structure using multilocus genotype data // Genetics. V. 155. P. 945-959. DOI: 10.1093/genetics/155.2.945
- Rasmussen R.S., Morrissey M.T., Hebert P.D.N. 2009. DNA barcoding of commercially important salmon and trout species (*Oncorhynchus* and *Salmo*) from North America // Journal of Agricultural and Food Chemistry. N. 57. P. 8379-8385. DOI 10.1021/jf901618z
- Rexroad III C.E., Coleman R.L., Gustafson A.L., Hershberger W.K., Killefer J. 2002. Development of rainbow trout microsatellite markers from repeat enriched libraries // Marine Biotechnology. V. 4. N. 1. P. 12-16. DOI 10.1007/s10126-001-0058-6
- Smith C.T., Koop B.F., Nelson R.J. 1998. Isolation and characterization of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*)

- microsatellites and their use in other salmonids // *Molecular Ecology*. V. 7. P. 1613-1621. DOI 10.1139/cjfas-53-4-833
- Ward R.D., Zemlak T.S., Innes B.H., Last P.R., Hebert P.D.N. 2005. DNA barcoding Australia's fish species // *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*. N. 360. P. 1847-1857. DOI 10.1098/rstb.2005.1716
- Williamson K.S., Cordes J.F., May B. 2002. Characterization of microsatellite loci in chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) and cross-species amplification in other salmonids // *Molecular Ecology Notes*. V. 2. P. 17-19. DOI 10.1046/j.1471-8286.2002.00129.x
- Zelenina D., Khrustaleva A., Volkov A., Habicht C., Smith C., Seeb J. 2005. A case study of two genetic markers for inter-laboratory collaboration: SNPs provide transportability without standardization. NPAFC Doc. No. 913. 14 p.
- REFERENCES**
- Zhivotovsky L.A., Shaikhaev E.G., Shitova M.V. 2013. Identification of salmonid fish using microsatellite markers with identical PCR-primers // *Russian Journal of Marine Biology*. T. 39. № 6. C. 447-454.
- Kuznetsov A.V., Tsarin S.A., Samotoy Yu.V., Kirpichenko S.A., Meteleva D.V., Pasein S.N. 2025. Genetic examination of canned salmon // *New technologies in medicine, biology, pharmacology and ecology. Proceedings of the International Conference*. Moscow: IIT. P. 227-233. DOI 227-233. 10.47501/978-5-6044060-5-2.227-233 (In Russ.).
- Rubtsova G.A., Ponomareva E.V., Afanasiev K.I., Shaikhaev E.G., Kholodova M.V., Pavlov S.D., Zhivotovsky L.A. 2016. A detection of allelic variants at microsatellite markers by using capillary and traditional electrophoresis // *Russian Journal of Genetics*. T. 52. № 4. C. 423-427. DOI: 10.1134/S1022795416040086
- Soshnina V.A., Zelenina D.A. 2023. Population genetic diversity of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch* Walbaum) in the Asian part of its range based on the results of microsatellite loci analysis // *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the North-West Part of the Pacific Ocean*. N. 71. P. 23-33. DOI: 10.15853/2072-8212.2023.71.23-33. (In Russ.).
- Tyshchenko V.I., Terletsy V.P. 2021. *Oncorhynchus mykiss* in aquaculture: biotechnological and genetic foundations of breeding and selection // *International Research Journal*. № 7-1 (109). P. 141-144. DOI 10.23670/IRJ.2021.109.7.024 (In Russ.).
- Fomina T.A., Kuleshova M.G., Minaev M.Yu., Konorov E.A. 2022. Identification of fish species using next-generation sequencing (NGS) technology // *Food Systems*. V. 5. N. 2. P. 80-93. DOI 10.21323/2618-9771-2022-5-2-80-93. (In Russ.).
- Shaidullin R.R., Tyulkin S.V., Gilemkanov I.Yu., Sadriev A.R. 2025. Species identification of meat products using the PCR method // *Scientific Notes of the Kazan Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman*. V. 261. No 1. P. 261-267. DOI 10.31588/2413_4201_1883_1_261_261. (In Russ.).
- Ahles S., Mireles DeWitt C.A., Hellberg R.S. 2025. A meta-analysis of seafood species mislabeling in the United States // *Food Control*. V. 171. DOI 10.1016/j.foodcont.2024.111110
- Garcia J.L., Gaspar Y.A., Djekoundade A., Dalere M., Al-awadi A.A., Allossogbe M. et al. 2024. Fishy business in Seattle: Salmon mislabeling fraud in sushi restaurants vs grocery stores // *PLoS ONE*. V. 19. N 11. DOI 10.1371/journal.pone.0311522
- Hebert P.D.N., Cywinska A., Ball S.L. 2003. Biological identifications through DNA barcodes // *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. V. 270. N 1512. P. 313-321. DOI 10.1098/rspb.2002.2218.
- Ivanova N.V., de Waard J., Hebert P.D.N. 2006. An inexpensive, automation-friendly protocol for recovering high-quality DNA // *Molecular Ecology Notes*. V. 6. P. 998-1002. DOI 10.1111/j.1471-8286.2006.01428.x
- Ivanova N.V., Zemlak T.S., Hanner R.H., Hebert P.D.N. 2007. Universal primer cocktails for fish DNA barcoding // *Molecular Ecology Notes*. V. 7. N 4. P. 544-548. DOI 10.1111/j.1471-8286.2007.01748.x
- Kroetz K., Luque G.M., Gephart J.A., Donlan C.J. 2020. Consequences of seafood mislabeling for marine populations and fisheries management // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. V. 117. N 48. P. 30318-30323. DOI 10.1073/pnas.2003741117
- Mariani S., Griffiths A.M., Velasco A., Kappel K. 2015. Low mislabeling rates indicate marked improvements in European seafood market operations // *Frontiers in Ecology and Environment*. V. 13. N 10. P. 536-540. DOI 10.1890/150119
- Messing J. 1983. New M13 vectors for cloning // *Methods in Enzymology*. N. 101. P. 20-78. DOI 10.1016/0076-6879(83)01005-8
- Nelson R.J., Beacham T.D. 1999. Isolation and cross species amplification of microsatellite loci useful for study of Pacific salmon // *Animal Genetics*. V. 30. P. 228-229. DOI 10.1046/j.1365-2052.1999.00404-4.x
- Olsen J.B., Wilson S.L., Kretschmer E.J., Jones K.C., Seeb J.E. 2000. Characterization of 14 tetranucleotide microsatellite loci derived from sockeye salmon // *Molecular Ecology*. V. 9. P. 2185-2187. DOI 10.1046/j.1365-294x.2000.105317.x
- O'Reilly P.T., Hamilton L.C., McConnell S.K., Wright J.M. 1996. Rapid analysis of genetic variation in Atlantic Salmon (*Salmo salar*) by PCR multiplexing of dinucleotide and tetranucleotide microsatellites // *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. V. 53. N. 10. P. 2292-2298. DOI 10.1139/f96-192
- Prida V., Sepúlveda M., Quezada-Romegialli C., Harrod C., Gomez-Uchida D., Cid B., Canales-Aguirre C.B. 2020. Chilean salmon sushi: genetics reveals product mislabeling and a lack of reliable information at the point of sale // *Foods*. V. 9. N 11. DOI 10.3390/foods9111699
- Pritchard J.K., Stefens M., Donnelly P. 2000. Inference of population structure using multilocus genotype data // *Genetics*. V. 155. P. 945-959. DOI: 10.1093/genetics/155.2.945
- Rasmussen R.S., Morrissey M.T., Hebert P.D.N. 2009. DNA barcoding of commercially important salmon and trout

- species (*Oncorhynchus* and *Salmo*) from North America // Journal of Agricultural and Food Chemistry. N. 57. P. 8379-8385. DOI 10.1021/jf901618z
- Rexroad III C.E., Coleman R.L., Gustafson A.L., Hershberger W.K., Killefer J. 2002. Development of rainbow trout microsatellite markers from repeat enriched libraries // Marine Biotechnology. V. 4. N. 1. P. 12-16. DOI 10.1007/s10126-001-0058-6
- Smith C.T., Koop B.F., Nelson R.J. 1998. Isolation and characterization of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) microsatellites and their use in other salmonids // Molecular Ecology. V. 7. P. 1613-1621. DOI 10.1139/cjfas-53-4-833
- Ward R.D., Zemlak T.S., Innes B.H., Last P.R., Hebert P.D.N. 2005. DNA barcoding Australia's fish species // Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences. N. 360. P. 1847-1857. DOI 10.1098/rstb.2005.1716
- Williamson K.S., Cordes J.F., May B. 2002. Characterization of microsatellite loci in chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) and cross-species amplification in other salmonids // Molecular Ecology Notes. V. 2. P. 17-19. DOI 10.1046/j.1471-8286.2002.00129.x
- Zelenina D., Khrustaleva A., Volkov A., Habicht C., Smith C., Seeb J. 2005. A case study of two genetic markers for inter-laboratory collaboration: SNPs provide transportability without standardization. NPAFC Doc. No. 913. 14 p.

Поступила в редакцию 24.11.2025 г.
Принята после рецензий 23.12.2025 г.



УДК 582.272:581.527.4:581.6

Промысловые виды и их биология

Особенности распределения эндемичных ламинариевых водорослей в прибрежной зоне Курильских островов

Н.В. Евсеева

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»), Окружной проезд, 19, Москва, 105187
E-mail: evseeva@vniro.ru
SPIN-код: Евсеева Н.В.– 7562-2385

Цель работы: уточнить распределение и состояние запасов эндемичных ламинариевых водорослей в прибрежье Курильских островов.

Используемые методы: анализ проведён на основе литературных источников и полученной в 2019 гг. информации по рекомендованным методикам рыбохозяйственных исследований.

Новизна: проанализирован массив данных по распределению эндемичных видов, определено современное состояние ресурсов редких видов, разработаны рекомендации по эксплуатации ламинариевых водорослей Курильских островов.

Результат: Из пяти эндемичных ламинариевых водорослей Курильских островов только *Saccharina fibrosa* в прибрежье о. Итуруп образует значительный запас. К потенциально промысловым видам ламинариевых водорослей можно отнести виды с ограниченным распространением и эндемиков Хоккайдско–Южно-Курильского региона: *S. kurilensis*, *S. angustata*, *Arthrothamnus kurilensis*. Их суммарный запас у южных Курильских островов достигает 470 тыс. т. Наибольшим видовым разнообразием ламинариевых водорослей характеризуется прибрежная зона средних Курильских островов, что подтверждает наличие центра формообразования в этом районе. Общий запас водорослей пор. Laminariales в прибрежной зоне южных Курильских островов превышает 1381 тыс. т. Наименее продуктивной следует считать прибрежную зону северных Курильских островов, запас ламинариевых водорослей насчитывает всего 257,9 тыс. т. Продуктивность средних Курильских островов достигает 1795 тыс. т.

Практическая значимость: Определены запасы перспективных для промысла видов ламинариевых водорослей Курильских островов.

Ключевые слова: Laminariales, Курильские острова, распределение, запас.

Features of the distribution of endemic laminarian algae in the coastal zone of the Kuril Islands

Natalia V. Evseeva

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

The aim of the work: to clarify the distribution and status of endemic kelp stocks in the coastal areas of the Kuril Islands.

Methods used: the analysis was based on literature sources and information obtained in 2019 according to the recommended methods of fishery research.

Novelty: An array of data on the distribution of endemic species was analyzed, the current state of rare species resources was determined, and recommendations for the exploitation of kelp algae of the Kuril Islands were developed.

Result: Of the five endemic kelp algae of the Kuril Islands, only one, *Saccharina fibrosa*, forms a significant reserve in the coastal area of Iturup Island. Potentially commercial species of laminarian algae include species with limited distribution and endemics of the Hokkaido–South Kuril region: *S. kurilensis*, *S. angustata*, *Arthrothamnus kurilensis*. Their total reserve near the southern Kuril Islands reaches 470 thousand tons. The coastal zone of the middle Kuril Islands is characterized by the greatest species diversity of kelp algae, which confirms the presence of a center of morphogenesis in this area. The total stock of laminarian algae in the coastal zone of the southern Kuril Islands exceeds 1,381 thousand tons. The least productive should be considered the coastal zone of the northern Kuril Islands, the stock of laminarian algae amounts to only 257.9 thousand tons. The productivity of the middle Kuril Islands reaches 1,795 thousand tons.

Practical significance: developed recommendations for the rational use of resources of the laminarian algae of the Kuril Islands.

Keywords: Laminariales, Kuril Islands, stock, distribution.

ВВЕДЕНИЕ

Курильские острова являются частью островной дуги, соединяющей американскую и азиатскую флоры, по которой проходят ее миграции в обоих направлениях [Перестенко, 1994]. Однако флора островной дуги не является полностью миграционной, определённая часть видов присуща только ей. Самой характерной чертой островной флоры являются виды ламинариевых водорослей, обитающие только здесь и составляющие массовые и продуктивные сообщества.

Прибрежная зона Курильских островов характеризуется значительным видовым разнообразием водорослей и мощными их запасами [Евсеева, 2009, 2013]. Доминирующие ценообразующие водоросли, большая часть которых является промысловыми видами [Евсеева, Репникова, 2010], вносят существенный вклад в продуктивность региона и формируют каркас прибрежных биоценозов. В прибрежье Курильских островов обитает ряд видов, которые являются эндемиками гряды или их ограниченное распространение связано с регионом. Причём в регионе редкие виды могут образовывать значительные запасы и даже являются промысловыми. К таким видам, например, относится анфельция тобучинская *Ahnfeltia fastigiata* var. *tobuchiensis* – единственный промысловый вид красных водорослей на Дальнем Востоке России, где она является эндемиком [Макиенко, 1980]. Её ареал охватывает залив Петра Великого (Японское море), южную часть Сахалина (лагуна

Буссе) и южные Курильские острова (залив Измены о. Кунашир). Все ценопопуляции анфельции являются изолированными, обладают значительным запасом и активно эксплуатируются [Ресурсы..., 2020; Евсеева и др., 2024].

Курильские острова считаются одним из центров образования видов порядка Laminariales (сем. Alariaceae), а север о. Хоккайдо и южные Курильские острова – видов рода *Laminaria* [Щапова, 1948]. В целом происхождение порядка Laminariales связано бореальной зоной, и, в частности, с её азиатским побережьем [Клочкова, Саушкина, 2001] – формирование ряда родов и видов. Именно к Курильским островам приурочены ареалы редких видов ламинариевых водорослей, включая эндемичные, которые при этом часто образуют значительный запас на ограниченной акватории.

Целью работы являлось уточнение распределения и состояния запасов эндемичных ламинариевых водорослей в прибрежье Курильских островов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В основу работы положены литературные и архивные данные СахНИРО о распределении ламинариевых водорослей, а также материалы водолазного обследования 2019 г., проводимого СахНИРО, совместно с ВНИРО, в районе южных Курильских островов (рис. 1).

Водолазная съёмка была выполнена на НИС «Убежденный» с 5 августа по 7 сентября 2019 г. При

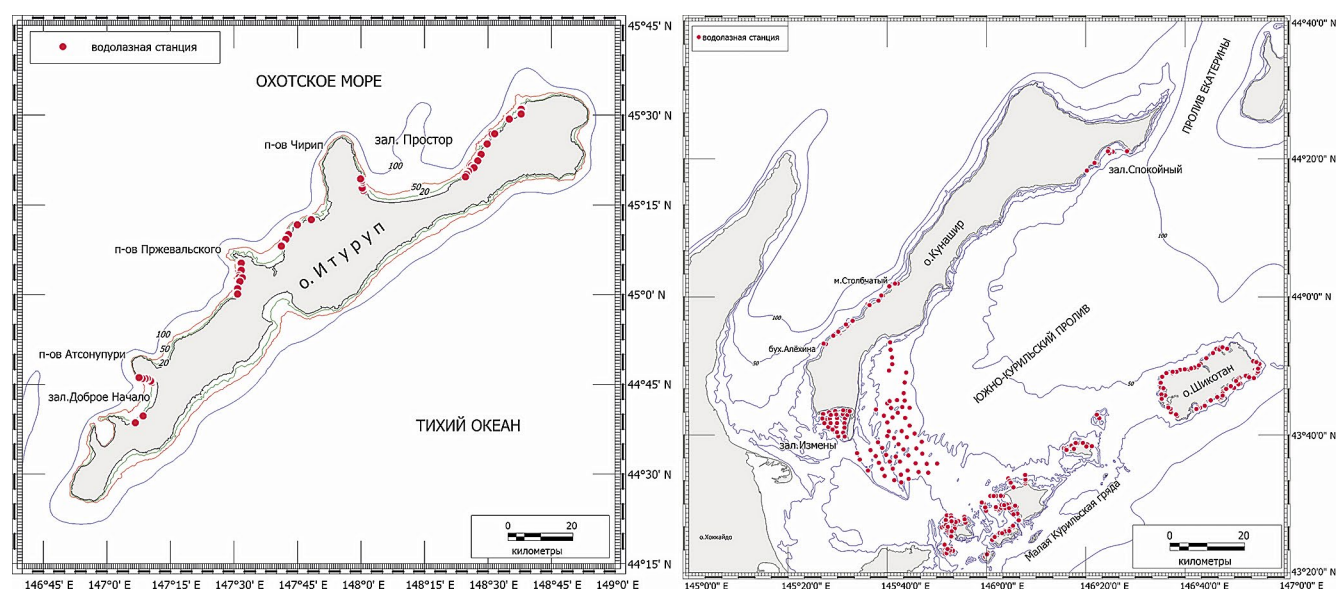


Рис. 1. Карта-схема водолазных станций у о-вов Итуруп, Кунашир, Шикотан, в Южно-Курильском проливе и у островов Малой Курильской гряды, выполненных в 2019 г.

Fig. 1. A map of the diving stations near the Iturup, Kunashir, Shikotan, in the South Kuril Strait and near the islands of the Lesser Kuril Ridge in 2019.

проведении работ использовали водолазный мотобот. За время экспедиции обследована прибрежная зона южных Курильских островов в диапазоне глубин от 1 до 21 м, выполнено 513 водолажных станций.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Эндемиками Курильских островов считаются пять видов ламинариевых водорослей:

Feditia simuschirensis Yu. E. Petrov et I. Gussarova, 1972. Описана в 1972 г. с о. Симушир [Гусарова, Петров, 1972]. Позднее не отмечалась более нигде.

Costulariella kurilensis (Petrov et Gussarova) N. G. Kloczova et T. A. Kloczova, 2010. Описана с о. Симушир [Гусарова, Петров, 1970]. Позднее была обнаружена также у о. Янкича и о. Парамушир [Клочкова, Огородников, 2006]. Вид включён в Красную книгу Сахалинской области [Красная книга..., 2019].

Alaria paradisea (Miyabe et Nagai) Widdowson, 1972 (\equiv *Pleuropterum paradiseum* Miyabe et Nagai, 1932). Была описана с о. Атласова (Алаид). Распространена по гряде довольно широко: о-ва Атласова, Онекотан, Ушишир, Симушир, Уруп. Встречается у северных и Средних Курильских островов [Klimova et al., 2018; Widdowson, 1971].

Undariella kurilensis Yu. E. Petrov et Kussakin, 1997. Род и вид описаны с о. Янкича [Петров, Кусакин, 1997]. Позднее не отмечалась более нигде.

Cymathaeare fibrosa Nagai, 1933 по данным Нагаи [Nagai, 1940; Kawashima, 1993] обитает от о. Парамушир до о. Итуруп, однако В. С. Огородников [2007] указывает, что у Северных Курил этот вид не встречается. По архивным данным¹ на участке от о. Кетой до о. Онекотан этот вид циматеры тоже не встречен. Предположительно северная граница обитания *C. fibrosa* проходит у о. Уруп, так что её можно считать эндемиком южной части Курильской гряды. Данный вид включён в Красную книгу Сахалинской области и РФ [Красная книга..., 2019], несмотря на то, что в прибрежье о. Итуруп её запас достигает 30 тыс. т.

C. fibrosa в прибрежной зоне о. Итуруп образует поселения на охотоморской стороне на скальных и валунных грунтах на глубинах 2-19 м. Растения второго года жизни преимущественно населяют глубины 2-11 м, первогодние приурочены к диапазону глубин 3-19 м. Таким образом, как и для сахарины японской у островов Малой Курильской гряды, у циматеры наблюдается батиметрическая стратификация растений разного возраста.

Средняя плотность в зарослях второгодней циматеры в 2019 г. составляла 6,2 экз./м², максимально до 40 экз./м². В зарослях первогодней циматеры средняя плотность насчитывала 20,1 экз./м² и достигала 80 экз./м². В ювенильных зарослях циматеры возраста 1- средняя плотность составляла 10,6 экз./м², максимальная – 43,2 экз./м².

Растения второго года жизни образовывали поселения со средней удельной биомассой 1,8 кг/м², максимально 6,6 кг/м². Средняя удельная биомасса первогодней циматеры была выше – 3,7 кг/м², максимально достигала 32 кг/м². Растения возрастом менее 1 года образовывали поселения со средней биомассой 0,2 кг/м², максимально – до 1,1 кг/м² (рис. 2).

На обследованных участках охотоморского побережья о. Итуруп в 2019 г. площадь зарослей циматеры составляла 22,2 км², общий запас определён в 28,2 тыс. т.

У южных Курильских островов распространены и образуют мощные заросли эндемичные для регионов Северо-Западной Пацифики виды. Некоторые виды бурых ламинариевых водорослей встречаются только у Курильских островов и северного Хоккайдо. Это эндемики Хоккайдско-Южно-Курильского региона.

Saccharina kurilensis C. E. Lane, C. Mayes, Druehl et G. W. Saunders, 2006 произрастает у северо-восточного Хоккайдо [Kawashima, 1993], о. Кунашир и о-вов Малой Курильской гряды и является эндемиком района, примыкающего к Южно-Курильскому мелководью. Наибольшие заросли наблюдаются в прибрежье о. Шикотан.

S. kurilensis у о-вов Малой Курильской гряды отмечается на тех же участках, что и *S. japonica*, образуя с ней смешанные заросли или поселения глубже зарослей японской сахарины. Дополнительно встречается в прибрежной зоне о. Шикотан, единично отмечается в прибрежье о. Анучина, у островов Демина и на банке Опасная. Поселения встречаются на глубинах 2-26 м, в основном, на каменисто-галечных грунтах, реже на валунах и скальных плитах.

В отличие от сахарины японской, в распределении сахарины курильской разных возрастов особых отличий нет. Так, глубина распространения второгодних зарослей составляет 2-16,5 м. Первогодние заросли распространяются на глубину от 3 до 19 м. В распределении водорослей первого и второго года жизни чередование участков не отмечено.

Плотность в зарослях в среднем по всем участкам островов Малой Курильской гряды к югу от о. Шикотан составляла 5 экз./м² в промысловых второгодних зарослях, 7,2 экз./м² в первогодних поселениях

¹ Иртюго П. П. 1971. Состав, распределение и ориентировочная оценка запасов промысловых макрофитов у берегов Курильских островов Кетой-Онекотан. Отчёт о НИР: СахТИНРО. Инв. № 2332. Южно-Сахалинск. 32 с.

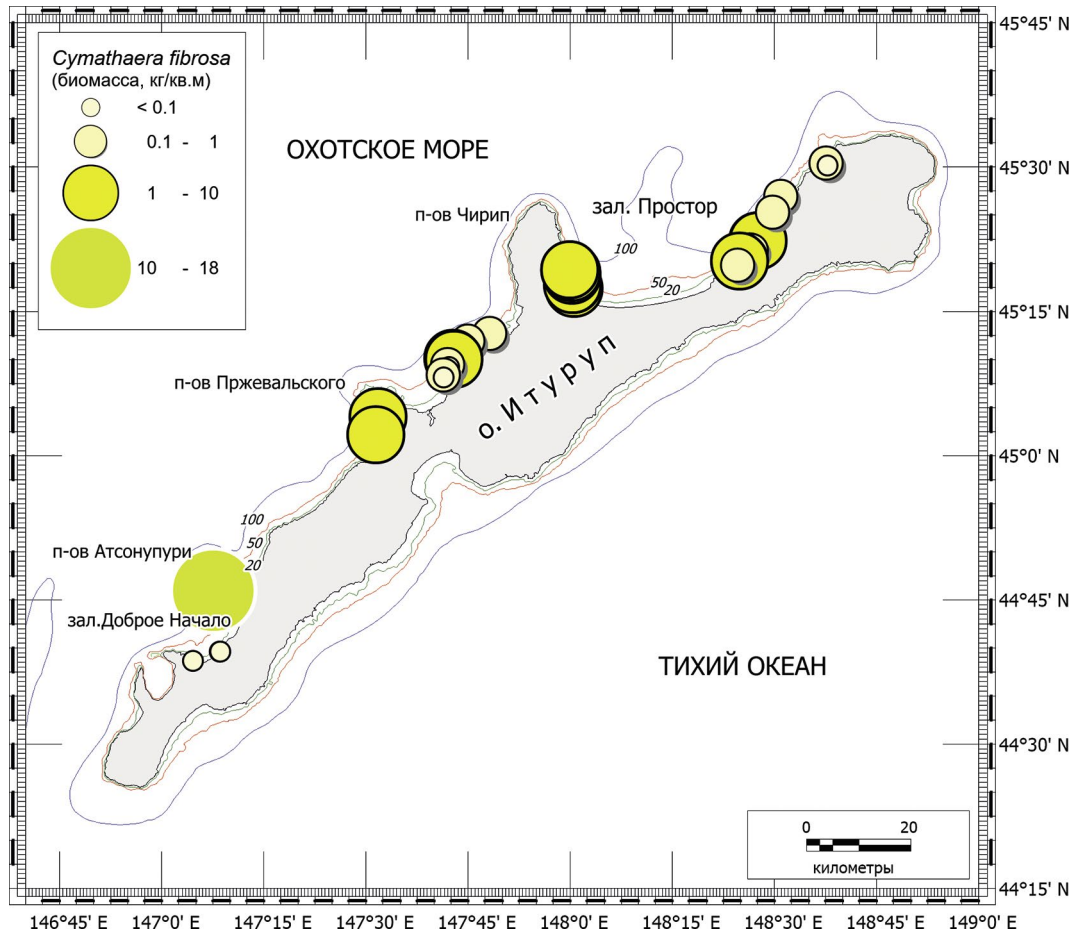


Рис. 2. Распределение средней биомассы поселений циматеры волокнистой *Cymathæra fibrosa* в прибрежной зоне о. Итуруп в 2019 г.

Fig. 2. Distribution of average biomass of *Cymathæra fibrosa* in the coastal zone of Iturup Island in 2019

и 16 экз./м² для растений возраста 1-го. Максимальные значения были отмечены: 12 экз./м² – в поселениях у о. Юрий для второгогодних растений, 21,6 экз./м² – в первогодних поселениях у о. Зелёный и 254,6 экз./м² для растений возраста 1-го на том же участке.

Средняя удельная биомасса имела следующие значения: 2,9 кг/м² в зарослях второго года жизни, (максимально достигала 8,4 кг/м²), 1,6 кг/м² (максимальное значение – 6,3 кг/м²) в зарослях первогодних растений. В поселениях сахарины возрастом менее 1 года средняя биомасса насчитывала 0,2 кг/м², максимальная – 2,3 кг/м².

У о. Шикотан сахарина курильская встречается практически вдоль всего побережья. Промысловые заросли второгогодних растений приурочены к глубинам 2-18 м на каменистых, скальных и валунных грунтах. Среднее проективное покрытие дна варьировалось от 25 до 100%. Плотность зарослей составляла 5,7 экз./м² и изменялась от 0,04 до 30 растений на 1 м².

Средняя удельная биомасса в зарослях у о. Шикотан имела следующие значения: 6,0 кг/м² в зарослях

второго года жизни, (максимально достигала 26,8 кг/м²), 1,6 кг/м² (максимальное значение – 4,2 кг/м²) в зарослях первогодних.

В прибрежной зоне о. Кунашир сахарина курильская практически не образует самостоятельных поселений, встречаясь в смешанных зарослях с сахаринной японской на западном побережье, и с сахаринной суженной на восточной стороне острова.

Общий запас сахарины курильской в прибрежной зоне островов Малой Курильской гряды достигал значения 83,8 тыс. т, причём только в побережье о. Шикотан с общим запасом 24,8 тыс. т.

Saccharina gyrate (Kjellman) C.E. Lane, C. Mayes, Druehl et G.W. Saunders, 2006 встречается у северо-востока о. Хоккайдо [Kawashima, 1993], у о-вов Кунашир, Зелёный, Итуруп, где образует локальные поселения ограниченной площади, распространена в районах, примыкающих к Южно-Курильскому мелководью и может считаться эндемиком данной части северо-западной Пацифики. *S. gyrate* встречается редко и единично, образует локальные поселения у о.

Итуруп: в зал. Доброе начало и у м. Виноградный; у о. Полонского (м. Полонского) и в прибрежье о. Зелёный (м. Зелёный). Глубины, на которых отмечены локальные поселения, небольшие – 1,5-4 м. Грунт в местах образования поселений – валуны и камни.

Средняя плотность насчитывала 3,7 экз./м² и изменялась в пределах 1-20 экз./м². Удельная биомасса в среднем составляла 1,9 кг/м² и варьировалась от 0,1 до 3,9 кг/м².

В связи с локальностью поселений и небольшими площадями, мы не рекомендуем использовать её для промысла. Общий запас у о. Итуруп не превышал 0,3 тыс. т, у о. Зелёный – 0,5 тыс. т.

Два вида водорослей встречены за пределами Хоккайдско-Южно-Курильского региона, но они также являются редкими. Это:

Arthrothamnus kurilensis Ruprecht, 1848 отмечен у о-вов Итуруп, Уруп, Симушир [Nagai, 1940] и локальное поселение наблюдается у юго-западного побережья о. Сахалин. Наиболее значительные заросли наблюдаются на океанской стороне о. Итуруп, в основном, на скальных, реже – валунных грунтах. Заросли встречались на глубинах 3,5-14 м с проективным покрытием в среднем 90,5%. Возраст промеренных растений доходил до 6 лет. Средняя плотность зарослей насчитывала 7,3 экз./м² и варьировалась от 1,2 до 28 экз./м². Биомасса изменялась в пределах 0,04-48 кг/м², составляя в среднем 9,6 кг/м². Оценённый запас артротамнуса на океанской стороне о. Итуруп составлял порядка 104 тыс. т.

A. kurilensis также отмечается в зал. Анива и у юго-западного Сахалина [Клочкова, 1996] у п-ова Крильон в районе воздействия холодного течения. В зарослях подводной растительности на него приходится менее 10% от всего количества крупных видов бурых водорослей. Глубины произрастания – от 1 до 8 м. Площадь его распространения начала увеличиваться с 2005 г., и выросла до 0,2 км², а удельная биомасса уменьшилась до 2 кг/м². Средняя плотность насчитывала 4,8 экз./м², максимально достигала 12,5 экз./м². В 2008 г в зарослях преобладали растения 1-3 лет жизни. *A. kurilensis* – многолетнее растение, поэтому колебания удельной биомассы зависит от преобладания в зарослях растений того или иного возраста. Ориентировочный общий запас у п-ова Крильон в 2008 г насчитывал всего 0,04 тыс. т.

Saccharina angustata (Kjellman) C.E. Lane, C. Mayes, Druhl et G.W. Saunders, 2006 обитает в прибрежье о. Хоккайдо [Kawashima, 1993], у о. Кунашир и о-вов Малой Курильской гряды). На юге Приморья [Петров, Суховеева, 1972] выделен подвид *Saccharina angustata*

subsp. *sibirica* (Petrov et Sukhovееva) Selivanova, Zhigadlova et G.I. Hansen, 2007.

Поселения сахарины приурочены к юго-восточной (океанской) стороне о-вов Малой Курильской гряды [Евсеева, 2009]. В прибрежной зоне о. Кунашир поселения сахарины суженной занимают практически полностью восточное побережье со стороны Южно-Курильского пролива. Глубины её распространения от 1,5 до 18 м. Встречается на скальном и валунном грунтах, реже – на гальке и камнях.

Средняя плотность в зарослях сахарины суженной в прибрежье о-вов Малой Курильской гряды насчитывала 5 экз./м² и максимально достигала 72 экз./м². В прибрежье о. Кунашир плотность в зарослях изменялась от 1 до 19 экз./м² и в среднем насчитывала 3,3 экз./м². Средняя удельная биомасса в зарослях у о-вов Малой Курильской гряды составляла 5,6 кг/м², наибольшее значение было зафиксировано в 2006 г. прибрежной зоне о. Зелёный – 188 кг/м². Удельная биомасса сахарины суженной в прибрежной зоне о. Кунашир колебалась от 0,008 до 24,0 кг/м² и в среднем составляла 3,5 кг/м².

Общий запас сахарины суженной у о-вов Малой Курильской гряды насчитывал порядка 249,6 тыс. т. Наиболее крупные поселения отмечаются с океанской стороны о-вов Зелёный и Танфильева. В прибрежной зоне о. Кунашир запас сахарины суженной определён в 28,3 тыс. т. Таким образом, запас сахарины суженной в прибрежье южных Курильских островов составлял порядка 281,4 тыс. т.

Бурые водоросли порядка Laminariales в прибрежье Курильских островов образуют значительную биомассу и являются промысловыми и перспективными для промысла видами. Представители порядка доминируют в растительных ассоциациях на твёрдых грунтах и определяют характер растительности литорали и в сублиторали Курильских островов и высокую продуктивность мелководий.

Порядок Laminariales в районе Курильских островов представлен семействами: Laminariaceae (5 родов, 14 видов), Agaraceae (3 рода и 3 вида), Alariaceae (93 рода и 7 видов), Laminariales familia incertae sedis (виды неопределённого положения, 3 рода и 3 вида). Наиболее представительным является семейство Laminariaceae: 5 родов и 14 видов. Всего порядок представлен 14 родами и 27 видами.

Распределение видового состава порядка Laminariales было следующим: 18 видов у северных Курильских островов, 23 вида – у средних Курильских островов и 19 видов в прибрежье южных Курильских островов. Таким образом, наибольшим видовым разнообразием ламинариевых водорослей характеризу-

ется прибрежная зона средних Курильских островов, что подтверждает наличие центра формообразования в этом районе [Щапова, 1948; Клочкова, 1998].

По продуктивности и промысловому значению выделяется участок о-вов Малой Курильской гряды к югу от о. Шикотан. Здесь запас ламинариевых водорослей составляет более 900 тыс. т. Общий запас водорослей пор. Laminariales в прибрежной зоне южных Курильских островов превышает 1381 тыс. т. Наименее продуктивным следует считать прибрежную зону северных Курильских островов, совокупный запас ламинариевых водорослей насчитывает всего 257,9 тыс. т [Огородников, 2007]. Продуктивность средних Курильских островов была оценена достаточно давно и по данным П.П. Иртыго ориентировочно достигает 1795 тыс. т [Ресурсы..., 2020].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, из пяти эндемичных ламинариевых водорослей Курильских островов только одна *S. fibrosa* в прибрежье о. Итуруп образует значительный запас. К потенциально промысловым видам ламинариевых водорослей можно отнести виды с ограниченным распространением и эндемиков Хоккайдско-Южно-Курильского региона: *S. kurilensis*, *S. angustata*, *A. kurilensis*. Их суммарный запас у южных Курильских островов достигает 470 тыс. т.

Благодарности

Автор выражает благодарность Ю.Н. Шепелеву, Р.Т. Гону, Д.В. Соколенко и всем сотрудникам СахНИРО, принимавшим участие в полевых исследованиях и участвующих в обработке данных.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

Финансирование

Работа проведена в рамках бюджетного финансирования ВНИРО.

ЛИТЕРАТУРА

Гусарова И.С., Петров Ю.Е. 1970. Новый род и вид ламинариевых водорослей с Курильских островов // Новости систематики низших растений. Т. 7. С. 87-90.

Гусарова И.С., Петров Ю.Е. 1972. Новый род и вид ламинариевых водорослей с о. Симушир (Курильские острова) // Новости систематики низших растений. Т. 9. С. 39-44.

Евсеева Н.В. 2009. Макрофитобентос прибрежной зоны Южных Курильских островов: состав, распределение и ресурсы: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: ВНИРО. 22 с.

Евсеева Н.В. 2013. Видовой состав и характеристика флоры морских водорослей макрофитов южных Курильских островов // Труды СахНИРО. Т. 14. С. 237-266.

Евсеева Н.В., Матюшкин В.Б., Березина М.О., Мельник Р.А., Левицкий А.Л., Власов Д.О. и др. 2024. Состояние ресурсов и промысел водорослей и морских трав в морях России в 2000-2020 гг. // Труды ВНИРО. Т. 195. С. 232-248.

Евсеева Н.В., Репникова А.Р. 2010. Ресурсы промысловых водорослей Сахалино-Курильского региона // Рыбпром. № 3. С. 14-21.

Клочкова Н.Г. 1996. Флора водорослей-макрофитов Татарского пролива (Японское море) и особенности её формирования. Владивосток: Дальнаука. 292 с.

Клочкова Н.Г. 1998. Водоросли-макрофиты дальневосточных морей России. Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Владивосток: БПИ ДВО РАН. 45 с.

Клочкова Н.Г., Огородников В.С. 2006. Дополнение к описанию и распространению ламинариевой водоросли *Costularia kurilensis* // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей. Сб. мат. VII науч. конф. Петропавловск-Камчатский: Камшат. С. 395-398.

Клочкова Н.Г., Саушкина Л.Н. 2001. Распространение и биоразнообразие ламинариевых водорослей // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей. Сб. мат. II науч. конф. Петропавловск-Камчатский: Камшат. С. 48-50.

Красная книга Сахалинской области: Растения и грибы. 2019. 2-е изд. / В.М. Ерёмин, А.А. Таран ред. Кемерово: Технопринт. 352 с.

Макиенко В.Ф. 1980. Об истории изучения *Ahnfeltia plicata* (Huds.) Fries. Виды анфельции у дальневосточных берегов СССР // Биология анфельции. Владивосток: ДВНЦ АН СССР. С. 5-14.

Огородников В.С. 2007. Водоросли-макрофиты Северных Курильских островов. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ. 25 с.

Перестенко Л.П. 1994. Красные водоросли дальневосточных морей России. СПб.: Ольга. 331 с.

Петров Ю.Е., Кусакин О.Г. 1997. *Undariella kurilensis*- новый род и вид ламинариевой водоросли с литорали вулканического острова Янкича (Курильские острова) // Биология моря. Т. 23. № 2. С. 79-83.

Петров Ю.Е., Суховеева М.В. 1972. *Laminaria angustata* Kjellm. у берегов Приморского края // Новости систематики низших растений. Т. 9. С. 44-47.

Ресурсы и рациональное использование морских водорослей и трав дальневосточных морей России. 2020. / В.Н. Акулин ред. Владивосток: ТИНРО. 268 с.

Щапова Т.Ф. 1948. Географическое распространение представителей порядка Laminariales в северной части Тихого океана // Труды ИО АН СССР. Т. 2. С. 89-138.

- Kawashima S.* 1993. Laminariacean algae of Japan. Sapporo, Japan. 230 p.
- Klimova A.V., Klochkova N.G., Klochkova T.A., Gwang Hoon Kim.* 2018. Morphological and molecular identification of *Alaria paradisea* (Phaeophyceae, Laminariales) from the Kurile Islands // *Algae*. V. 33(1): 37-48.
- Nagai M.* 1940. Marine algae of the Kurile Islands. I. // *J. Fac. Agric. Hokkaido Imp. Univ.* V. 46 (1). 1-137.
- Widdowson T.B.* 1971. A taxonomic revision of the genus *Alaria* Greville // *Syesis* 4: 11-49.
- Klochkova N.G., Saushkina L.N.* 2001. Distribution and biodiversity of Laminariacean // *Conservation of Biodiversity of Kamchatka and coastal waters*. Mat. of II Scient. Conf. Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamshat. P. 48-50. (In Russ.)
- Red Data Book of Sakhalin District: Plants and Fungi* 2019. / V.M. Eremin, A.A. Taran ed. 2nd ed. Kemerovo: TekhnoPrint. 352 p. (In Russ.)
- Makiyenko V.F.* 1980. On the history of the study of *Ahnfeltia plicata* (Huds.) Fries. *Ahnfeltia* species near the Far Eastern coast of the USSR // *Biology of Ahnfeltia*. Vladivostok: FEC of the AS USSR. P. 5-14. (In Russ.)
- Ogorodnikov V.S.* 2007. Macrophytes of the northern Kuril Islands: Ph D. abstr. in biology. Petropavlovsk-Kamchatskiy: KamchatSTU. 25 p. (In Russ.)
- Perestenko L.P.* 1994. Red algae of the far-eastern seas of Russia. St.-Petersburg: 331 c. (In Russ.)
- Petrov Yu. E., Sukhoveeva M.V.* 1972. *Laminaria angustata* Kjellm. from the coast of Primorsky Krai // *Novitates Systematicae Plantarum non Vascularium*. V. 9: 39-44. (In Russ.)
- Petrov Y.E., Kusakin O.G.* *Undariella kurilensis*, a new genus and species of laminarian algae (Phaeophyta, Laminariales) from the intertidal zone of volcanic Yankicha Island (the Kurils) // *Biologiya morya*. 1997. V. 23, № 2. P. 79-83. (In Russ.)
- Resources and rational use of seaweeds and grasses of the Far Eastern seas of Russia*. 2020. / V.N. Akulin ed. Vladivostok: TINRO Publish. 268 p. (In Russ.)
- Shchapova T.F.* 1948. Geographical distribution of creatures of the order of Laminariales in the North Pacific // *Trudy IO AN SSSR*. V. 2. P. 89-138. (In Russ.)
- Kawashima S.* 1993. Laminariacean algae of Japan. Sapporo, Japan. 230 p.
- Klimova A.V., Klochkova N.G., Klochkova T.A., Gwang Hoon Kim.* 2018. Morphological and molecular identification of *Alaria paradisea* (Phaeophyceae, Laminariales) from the Kurile Islands // *Algae*. V. 33(1): 37-48.
- Nagai M.* 1940. Marine algae of the Kurile Islands. I. // *J. Fac. Agric. Hokkaido Imp. Univ.* V. 46 (1). 1-137.
- Widdowson T.B.* 1971. A taxonomic revision of the genus *Alaria* Greville // *Syesis* 4: 11-49.
- REFERENCES**
- Gussarova I.S., Petrov Yu. E.* 1970. New genus and species of Laminariaceae algae from the Kuril Islands // *Novitates Systematicae Plantarum non Vascularium*. V. 7: 87-90. (In Russ.)
- Gussarova I.S., Petrov Yu. E.* 1972. New genus and species of Laminariaceae algae from Simushir Island (Kuril Islands) // *Novitates Systematicae Plantarum non Vascularium*. V. 9: 39-44. (In Russ.)
- Evseeva N.V.* 2009. Macrophytobenthos of the coastal zone of the southern Kuril Islands: composition, distribution and resources. PhD abstr. in biology. Moscow: VNIRO. 22 p. (In Russ.)
- Evseeva N.V.* 2013. Species composition of seaweeds and characteristic of their flora along the southern Kuril Islands // *Trudy SakhNIRO*. V. 14. P. 237-266. (In Russ.)
- Evseeva N.V., Matyushkin V.B., Berezina M.O., Melnik R.A., Levitsky A.L., Vlasov D.O. et al.* 2024. State of resources and fishery of commercial seaweeds and seagrasses in the seas of Russia in 2000-2020. // *Trudy VNIRO*. V. 195. P. 232-248. (In Russ.)
- Evseeva N.V., Repnikova A.R.* 2010. Resources of commercial and potentially-commercial algae of Sakhalin-Kuril region // *Rybprom*. № 3. P. 14-21. (In Russ.)
- Klochkova N.G.* 1996. Flora of algae-macrophytes of the Tatar Strait (the Sea of Japan) and features of its formation. Vladivostok: Dal'nauka 292 p. (In Russ.)
- Klochkova N.G.* 1998. Macrophytes of the Far Eastern seas of Russia: Abstr. ... Diss. Doc. In Biology. Vladivostok: BSI FIB RAS. 45 p. (In Russ.)
- Klochkova N.G., Ogorodnikov V.S.* Addition to description and distribution of Laminariacean algae *Costularia kurilensis* // *Conservation of Biodiversity of Kamchatka and coastal waters*: Mat. of VII Scient. Conf. Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamshat. 2006. P. 395-398. (In Russ.)

Поступила в редакцию 21.08.2025 г.
Принята после рецензий 19.12.2025 г.



УДК 639.2.053.7: 597-152.6

Водные биологические ресурсы

Значение коэффициентов промыслового возврата в рыбохозяйственных исследованиях

А.К. Матковский

Тюменский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («Госрыбцентр»), Одесская ул., д.33, г. Тюмень, 625023

E-mail: a.matkovskiy@gosrc.vniro.ru

SPIN-код: А.К. Матковский – 8635-5628

Цель: определение области применимости коэффициентов промыслового возврата в рыбохозяйственных исследованиях на примере сиговых рыб Обского бассейна.

Методы исследования: для анализа использовали расчётные значения коэффициентов за период 1970-2015 гг., а также материалы по искусственному воспроизводству за 1986-2011 гг. Численность рыб рассчитывали методом восстановленного запаса. Коэффициенты проверяли по следующим критериям: выживаемость молоди; возврат производителей от численности личинок; число потомков пары производителей, достигающих половой зрелости.

Результаты: анализ разных показателей подтвердил обоснованность замены ранее действовавших коэффициентов на новые. Показана связь коэффициентов с выживаемостью и уровнем использования запаса. Отмечено, что эта связь содержится в уравнении коэффициента. Рассматриваются различные аспекты применения коэффициентов. Особое внимание уделяется анализу изменения интенсивности промысла и естественного воспроизводства, а также определению объёмов ННН-вылова. Установлено увеличение уровня использования поколения промыслом при снижении её численности.

Практическая значимость: раскрыты ранее не используемые возможности применения коэффициентов для выяснения эффективности искусственного воспроизводства, определения объёмов ННН-вылова, прогнозирования урожайности поколений и регулирования рыболовства.

Ключевые слова: коэффициент промыслового возврата, выживаемость, интенсивность и регулирование рыболовства, уровень естественного воспроизводства, ННН-промысел, перелов.

Significance of commercial return coefficients in fisheries research

Andrej K. Matkovskiy

Tyumen branch of VNIRO («Gosrybsentr»), 33 Odesskaya St., Tyumen, 625023, Russia

Purpose of the study: determination of the area of applicability of commercial return coefficients in fisheries research using the example of whitefish of the Ob basin.

Research methods: The calculated values of the coefficients for the period 1970-2015, as well as materials on artificial reproduction for 1986-2011, were used for the analysis. The number of fish was calculated using the restored stock method. The coefficients were checked according to the following criteria: the survival rate of juveniles; the return of producers from the number of larvae; the number of descendants of a pair of producers reaching puberty.

Results: The analysis of various indicators confirmed the validity of replacing the previously valid coefficients with new ones. The relationship of coefficients with survival and the level of reserve utilization is shown. It is noted that this relationship is contained in the equation of the coefficient. Various aspects of the application of coefficients are considered. Special attention is paid to the analysis of changes in the intensity of fishing and natural reproduction, as well as the determination of the volume of IUU fishing. An increase in the level of use of generation by fishing has been established with a decrease in its number.

Practical significance: The previously unused possibilities of using coefficients to determine the effectiveness of artificial reproduction, determine the volume of IUU fishing, predict the yield of generations and regulate fishing are disclosed.

Keywords: fishing return coefficient, survival rate, intensity and regulation of fishing, level of natural reproduction, IUU fishing, overfishing.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы информативность коэффициентов промыслового возврата, пересмотренных в конце 2010-х гг. [Методика исчисления ..., 2020¹], ставится под сомнение. Предлагается или заменить их коэффициентами выживаемости [Шибает, 2018], или вернуться к ранее действовавшим коэффициентам [Богданов, 2023] 1980-х гг. [Временная методика ..., 1989²; Методика исчисления ..., 2011³]. Вместе с тем, практика применения новых коэффициентов показала их действенность. Они позволяют не только правильно рассчитывать объёмы компенсации наносимого вреда водным биологическим ресурсам, но и отражают происходящие изменения в выживаемости рыб, что важно для изучения состояния естественного воспроизводства и численности популяций.

Целью данной статьи является оценка применимости коэффициентов промыслового возврата в рыбохозяйственных исследованиях на примере сиговых рыб Обского бассейна.

Задачи исследования заключались в проверке обоснованности внесения изменений в сторону понижения ранее действовавших коэффициентов и в изучении связи коэффициентов с естественным воспроизводством и интенсивностью промысла.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Учитывая широкий спектр толкования промыслового возврата [Шибает, 2018], в статье под этим термином понимается, какая часть численности генерации за период её существования, начиная от той или иной жизненной стадии, используется промыслом. Коэффициент выражается в процентах, что позволяет получать сопоставимые оценки.

Коэффициенты промыслового возврата рассчитывали по уравнению:

$$k = \frac{100 \sum_{i=1}^n C_i}{N}, \quad (1)$$

где k – коэффициент промыслового возврата, %; C_i – вылов генерации в год i , экз.; n – число лет промысла генерации; N – численность определённой жизненной

стадии генерации, экз.: икры, личинки, молоди разной массы.

Численность рыб определяли методом восстановленного запаса [Матковский, 2001], а молоди – исходя из зависимости выживаемости от фонда отложенной икры и возраста достижения молодью той или иной массы [Матковский, 2017].

С использованием коэффициентов промыслового возврата коэффициент выживаемости исходя из уравнения 1 рассчитывали как:

$$s_i = \frac{k_i}{k_{i+1}}, \quad (2)$$

где s_i – коэффициент выживаемости в период лет i .

При анализе результатов использовали утверждённые и ранее действовавшие коэффициенты промыслового возврата 1989 г. (табл. 1), а также – многолетние фондовые материалы Ханты-Мансийского отдела Тюменского филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» по объёмам искусственного воспроизводства муксуна (*Coregonus muksun* (Pallas, 1814)) (табл. 2).

Объёмы ННН-промысла и прогнозирование изменения уровня естественного воспроизводства осуществляли путём сопоставления расчётных значений коэффициентов промыслового возврата за разные периоды лет. При этом в качестве эталонного периода использовались годы, когда воздействие на запас было сравнительно невысоким. Расчёт ННН-вылова выполняли на примере обского муксуна следующим образом:

1. Рассчитывали средний коэффициент промыслового возврата от икры в эталонный период (1970-1985 гг.).

2. Находили разницу между коэффициентами (промыслового возврата) эталонного периода и периода интенсивного воздействия ННН-промысла:

$$\Delta k_j = k_{эм} - k_j,$$

где Δk_j – приращение коэффициента промыслового возврата от икры генерации j по отношению к эталонному периоду, %; $k_{эм}$ – средний коэффициент промыслового возврата от икры в эталонный период, %; k_j – коэффициент промыслового возврата от икры генерации j , %.

3. Определяли утрату промыслового возврата от икры, приходящуюся на одну самку генерации j :

$$u_j = \frac{p \Delta k_j}{100},$$

где u_j – утрата промыслового возврата от икры, приходящаяся на одну самку генерации j , экз./особь; p – средняя плодовитость, икринок (для муксуна принималась равной 50 тыс. икринок).

¹ Методика исчисления размера вреда, причинённого водным биологическим ресурсам. <http://publication.pravo.gov.ru/>.

² Временная методика оценки ущерба, наносимого рыбным запасам в результате строительства, реконструкции и расширения предприятий, сооружений и других объектов и проведения различных видов работ на рыбохозяйственных водоёмах. https://gostrf.com/norma_data/59/59355/index.htm.

³ Методика исчисления размера вреда, причинённого водным биологическим ресурсам. https://fish.gov.ru/wp-content/uploads/documents/otraslevaya_deyatelnost/ohrana_vodnyh_bioresursov/npa-3.pdf.

Таблица 1. Коэффициенты промыслового возврата (%) отдельных видов сиговых рыб Обского бассейна
Table 1. Coefficients of commercial return of individual species of whitefish in the Ob basin

Вид	Временная методика, 1989 ²		Методика исчисления ..., 2020 ¹		
	от личинки	от молоди навеской 0,5 г	от личинки	от молоди навеской	
				0,5 г	1,5 г
Муксун	0,16	1,8	0,051	0,090	0,114
Нельма	0,11	0,8	0,077	0,136	0,171
Чир	0,17	1,2	0,069	0,103	0,128

Таблица 2. Искусственное воспроизводство обского муксуна в 1989-2011 гг. (фондовые данные Обь-Тазовского отдела Госрыбцентра)

Table 2. Artificial reproduction of the Ob muksun in 1989-2011 (stock data of the Ob-Tazovsky department of the Gosrybtsenter)

Годы	Объём выпуска личинок в магистраль млн экз.	Объём зарыбления выростных водоёмов личинками, млн экз.	Объём выпуска сеголеток в магистраль, млн экз.	Выход сеголеток из выростных водоёмов, %	Промысловый возврат	
					тыс. экз.	тонн
1985	9,8	-	-	-	15,68	26,66
1986	13,0	14,0	4,2	30	96,40	163,88
1987	8,0	2,0	0,6	30	23,60	40,12
1988	14,2	4,9	2,0	41	58,72	99,82
1989	7,7	2,7	0,3	11	17,72	30,12
1990	10,0	2,0	0,9	45	32,20	54,74
1991	12,9	5,9	2,5	42	65,64	111,59
1992	-	17,7	11,3	64	203,40	345,78
1993	-	18,0	5,1	28	91,80	156,06
1994	-	16,5	6,5	39	117,00	198,90
1995	-	8,9	3,4	38	61,20	104,04
1996	-	2,4	1,0	42	18,00	30,60
1997	-	4,2	1,8	43	32,40	55,08
1998	-	6,1	2,4	39	43,20	73,44
1999	-	4,0	2,0	50	36,00	61,20
2000	-	5,0	2,1	42	37,80	64,26
2001	-	9,3	4,8	52	86,40	146,88
2002	-	5,5	2,5	45	45,00	76,50
2003	-	9,0	3,6	40	64,80	110,16
2004	-	24,1	10,0	42	180,00	306,00
2005	-	29,0	12,4	43	223,20	379,44
2006	-	22,0	10,5	48	189,00	321,30
2007	-	15,0	7,0	47	126,00	214,20
2008	-	33,1	13,1	40	235,80	400,86
2009	-	-	10,0	-	180,00	306,00
2010	-	-	10,4	-	187,20	318,24
2011	-	-	6,1	-	109,80	186,66
Средняя	10,8	11,4	4,8	40,9	95,48	162,32

Примечание. Промысловый возврат рассчитан по коэффициентам [Временная методика ..., 1989].

4. Рассчитывали общую величину изъятия генерации ННН-промыслом:

$$S_{ННН j} = u_j n_i,$$

где $S_{ННН j}$ – общее изъятие генерации j ННН-промыслом, экз.; n_i – количество самок, принявших участие в нересте в год i для формирования генерации j , экз.

5. Определяли ежегодную величину вылова генерации ННН-промыслом:

$$C_{ННН j, i} = S_{ННН j} d_{j, i},$$

где $C_{ННН j, i}$ – изъятие генерации j ННН-промыслом в год i , экз.; $d_{j, i}$ – доля изъятия генерации j в год i

$$d_{j, i} = \frac{C_{j, i}}{S_j},$$

где $C_{j, i}$ – улов генерации j в год i , экз.; S_j – суммарный вылов генерации j за период жизни, экз.

Для проверки влияния ННН-промысла на численность популяции муксуна применялись индексы численности. В качестве индексов использовались многолетние данные по вылову на усилие-улов за один плав 450-метрового провяза плавных сетей.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Любой коэффициент промыслового возврата можно проверить на основе следующих критериев:

1. На сколько ожидаемый вылов от работ по искусственному воспроизводству соответствует фактическому.

2. Существует ли положительное влияние искусственного воспроизводства на динамику численности популяции.

3. Какое число рыб от потомства, появившегося от одного нереста пары производителей, доживает до половой зрелости.

4. Степень соответствия расчётной и фактической выживаемости молоди.

5. На сколько возврат производителей от начальной численности личинок соответствует действительности.

Проверка действующих коэффициентов промыслового возврата. Для сопоставления действующих [Методика исчисления..., 2020¹] и ранее использовавшихся [Временная методика..., 1989²] коэффициентов были привлечены данные по искусственному воспроизводству обского муксуна в 1986-2011 гг. В эти годы объёмы зарыбления молодью массой 0,5-3,0 г варьировали от 0,3 до 13,1 млн экз., в среднем составляя 4,8 млн экз.; средняя выживаемость составляла 40,9%. Исходя из ранее действовавших коэффициентов, ожидаемый

промысловый возврат должен был в среднем составить 162,3 т (табл. 2). Однако желаемый результат так и не был достигнут. Численность муксуна ежегодно сокращалась и в 2014 г. был введён запрет на его промысел.

Результаты свидетельствуют, что нисходящий устойчивый тренд в уловах не зависел от проводимых работ по искусственному воспроизводству. При этом с 2005 г. теоретическая ожидаемая доля в уловах рыбоводного муксуна возрастала (рис. 1). Фактический улов муксуна и его вылов на усилие (улов на сеть), как индекс численности не подтверждали этого события,

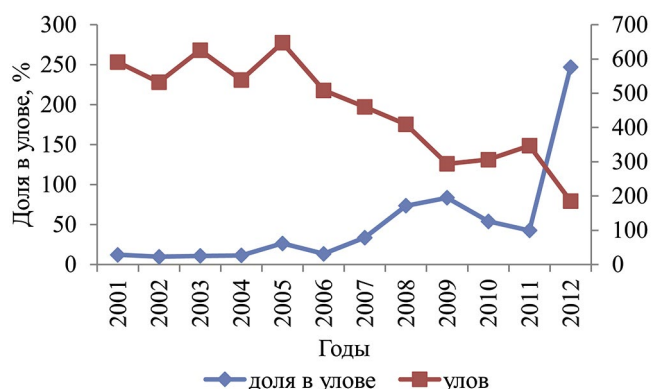


Рис. 1. Динамика фактических уловов и ожидаемая доля в улове рыбоводного муксуна в 2001-2012 гг.

Fig. 1. Dynamics of actual catches and expected share of farmed muksun in the catch in 2001-2012

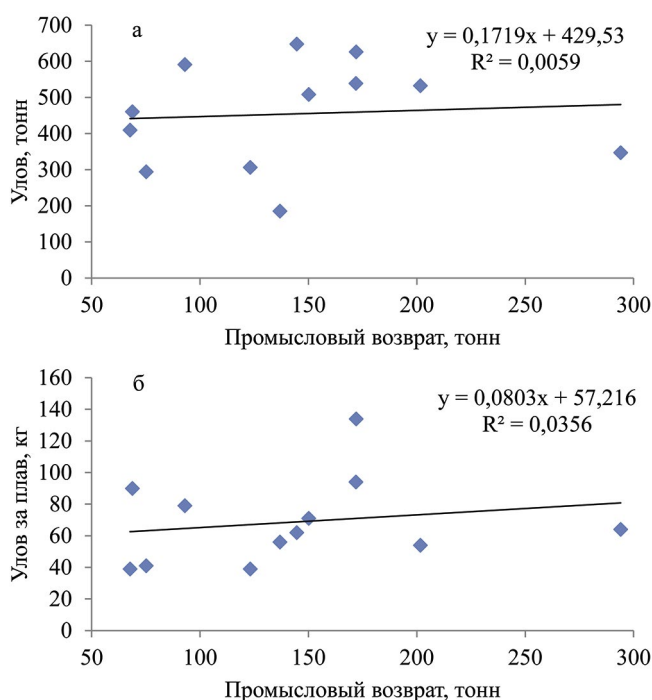


Рис. 2. Зависимость вылова (а) и улова на усилие (б) муксуна от промыслового возврата в 2001-2012 гг.

Fig. 2. Dependence of catch (a) and catch per effort (b) of muksun on commercial return in 2001-2012

поскольку не имели выраженной зависимости с величиной промыслового возврата (рис. 2).

Аналогичную проверку коэффициентов можно выполнить и по другим критериям, сравнив, например, расчётные значения выживаемости (табл. 3) с имеющимися литературными и фондовыми данными (табл. 4). Кроме муксуна проанализируем такие виды как нельма (*Stenodus leucichthys nelma* (Pallas, 1773)), чир (*Coregonus nasus* (Pallas, 1776)), пелядь (*C. peled* (Gmelin, 1789)), сиг-пыжьян (*C. lavaretus pidschian* (Gmelin, 1788)), байкальский омуль (*C. migratorius*

(Georgi, 1775)), сибирская ряпушка (*C. sardinella Valenciennes, 1848*), баунтовский сиг (*C. lavaretus baunti* (Muchomedijarov, 1948)).

Результаты свидетельствуют, что средняя выживаемость молоди сиговых от зарыбления личинок составляет 44,1%. Близкая выживаемость получена и на основе действующих коэффициентов промыслового возврата, что нельзя сказать о коэффициентах 1989 г. (см. табл. 3). Существующее искажение выживаемости сказалось на результатах определения числа рыб в потомстве от одного нереста пары

Таблица 3. Расчётная по коэффициентам промыслового возврата выживаемость (%) от личинки до молоди навеской 0,5 г и 1,5 г разных видов сиговых рыб

Table 3. Calculated survival rate from larvae to juveniles of 0.5 g and 1.5 g based on commercial return coefficients

Вид	Временная методика, 1989 ²		Методика исчисления ..., 2020 ¹	
	до 0,5 г	до 0,5 г	до 0,5 г	до 1,5 г
Муксун	8,89	56,67	56,67	44,74
Нельма	13,75	56,62	56,62	45,03
Чир	14,17	66,99	66,99	53,91
Средняя	12,27	60,09	60,09	47,89

Таблица 4. Выживаемость молоди сиговых в различных водоёмах от зарыбленной личинки

Table 4. Survival rate of whitefish juveniles in various water bodies from stocked larvae to juveniles of 0.5 g and 1.5 g

Вид	Водный объект	Сутки/сезон	Масса молоди, г	Выживаемость, %	Источник
Пелядь	озера Карелии	-/осень	20	50	Горбунова и др., 1969
	Бельские пруды	170/осень	3,4-7,5	41	Дзюменко, Дзюменко, 1981
	оз. М. Сартлан	-/осень	2,5-12,8	30-47	Егоров и др., 2010
	озера юга Тюменской обл.	-/осень	40-90	30-70	Ирискина и др., 1985
	оз. Нарыгын-Тор	150/осень	105	34-38	Сергиенко и др., 1985
	оз. Урюм	-/осень	11,4	33	Визер, Ростовцев, 2011
	оз. Урюм	-/осень	35	60	Визер, Ростовцев, 2011
	оз. Урюм	-/осень	56,1	74	Визер, Ростовцев, 2011
	отного Глухая	67/лето	15,3	48	Егоров и др., 2016
	оз. М. Сартлан	68/лето	11,2	41	Егоров и др., 2016
Омуль	Бельские пруды	103/осень	2,8-4,3	45	Дзюменко, Дзюменко, 1981
	оз. Урюм	-/осень	18,6	60	Визер, Ростовцев, 2011
	оз. Саган-Нур	-	-	50	Семенченко, 2000
Сиг-пыжьян	пруды Ропши	-/осень	19-36	29-30	Буланов и др., 1985
Муксун, пелядь	оз. Урюм	-/осень	19-56	33-74	Визер, 2010
Муксун	рыбопитомники Оби	30-60	0,5-3,0	11-64	Х-М отдел (фонды), 1986-2011
		-	0,5	35-64	Мамонтов и др., 2000
Ряпушка	оз. Урюм	-/осень	8,5	19	Визер, Ростовцев, 2011
Баунтовский сиг	Малогорский пруд	-/осень	7,4	30	Анпилова, 1967

производителей, достигающих половой зрелости, а также – на величине возврата производителей от начальной численности личинки. По коэффициентам 1989 г. от потомства, появившегося от одного нереста пары производителей муксуна до половой зрелости при 30%-ном изъятии должно доживать 9 особей (табл. 5), что является очень высокой величиной, так как в этом случае рост популяции будет происходить в геометрической прогрессии. Аналогичная оценка по коэффициентам 2020 г. [Методика исчисления ..., 2020¹] составляет 4 особи, что с учётом наличия пропуска нереста [Москаленко, 1958] и преобладанием самцов в нерестовом стаде [Дрягин, 1948], является более реалистичным. Однако современное изъятие гораздо выше 30%, поэтому восстановления численности не происходит.

В настоящее время имеется многолетний материал по возврату производителей байкальского омуля от начальной численности личинок [Семенченко, 2018]. Поскольку возраст наступления половой зрелости у байкальского омуля и обского муксуна в значительной мере совпадают, то можно сравнить расчётные значения возврата по муксуну с фактическими данными по байкальскому омулю. Результаты свидетельствуют, что по коэффициентам 2020 г. имеется существенное сходство с оценками по омулю, в то время как расчёты по коэффициентам 1989 г. подтверждают их завышение (табл. 6). О завышении свидетельствует тот факт, что самый высокий возврат производителей омуля отмечался в период его минимальной численности в 1946-1956 гг. и составлял 0,249%.

Использование коэффициентов промыслового возврата для оценки объёмов ННН-промысла. По многолетним данным фонда отложенной икры можно определить, как изменялся промысловый возврат от икры. Зная его снижение, приходящееся на одну самку, можно ориентировочно рассчитать объём ННН-промысла по отношению к заранее выбранному эталонному периоду с относительно невысоким уровнем сокрытия уловов. Возможность такого анализа связана с тем, что изначально поколение в виде фонда отложенной икры присутствует в водоёме и должно гарантировать определённый вылов, но потом по факту этого не происходит. Иными словами, поколение не реализует свои возможности в виде ожидаемого улова.

Расчёт ННН-вылова можно продемонстрировать на примере обского муксуна, максимальные уловы которого достигали 3 тыс. т. В качестве эталонного был принят период с 1970 по 1985 гг. (рис. 3). В эталонный период средний коэффициент промыслового возврата от икры составил 0,0050%, и от потомства одной самки, при средней плодовитости в 50 тыс. икринок, вылавливали 2,51 экз. В период интенсивного влияния ННН-промысла (1990-2008 гг.) коэффициент промыслового возврата снизился до 0,0026% и от одной самки в уловах регистрировали только 1,32 экз., т. е. среднее недоучтённое изъятие, приходящееся на одну нерестовую самку, составляло 1,19 экз. или 47% от возможного вылова. При этом распределение браконьерского вылова по годам было неравномерным и в этом можно убедиться, если аналогичные расчёты выполнить для каждой генерации отдельно, а затем определить ННН-изъятие в целом по году.

Таблица 5. Определение количества особей муксуна, достигающих половой зрелости в потомстве от одного нереста пары производителей, рассчитанных по двум методикам оценки коэффициентов

Table 5. Determination of the number of muksun individuals reaching sexual maturity in the offspring of a pair of producers, calculated using two methods for assessing the coefficients

Год выхода методики	От икры до личинки		От личинки до молоди, навеской 0,5 г		Улов, экз.	Число рыб, достигающих половой зрелости, экз.
	выживаемость, %	Н, экз.	выживаемость, %	Н, экз.		
2020	7,06	3529	56,67	2000	1,8	4,2
1989	5,00	2500	8,89	222	4,0	9,3

Примечание. Принималось, что до наступления половой зрелости изымается порядка 30% численности рыб генерации и коэффициент последующего использования запаса составляет 0,3. Средняя плодовитость муксуна принималась равной 50 тыс. икринок.

Таблица 6. Возврат производителей муксуна и байкальского омуля от начальной численности личинки

Table 6. Return of muksun and Baikal cisco producers from the initial number of larvae

Водный объект	Период, годы	Источник	Вид	Возврат, %
р. Обь	1969-2015	Методика исчисления ..., 2020 ¹	муксун	0,119
		Временная методика ..., 1989 ²		0,372
оз. Байкал	1936-2004	Семенченко, 2018	омуль	0,125



Рис. 3. Зависимость коэффициента промыслового возврата муксуна от фонда отложенной икры в 1970-2008 гг.

Fig. 3. Dependence of the coefficient of commercial return of muksun from the stock of deposited eggs in 1970-2008

Результаты свидетельствуют, что с 1999 г. неучтённый вылов ежегодно превышал официальный (рис. 4). Впервые ННН-промысел превысил официальный в 1999 г. Средняя величина ННН-вылова за период

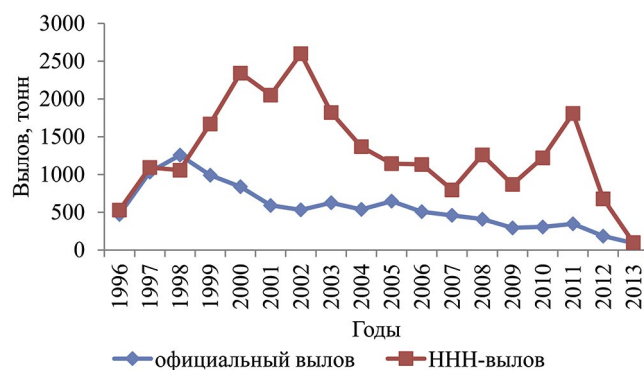


Рис. 4. Динамика официального и ННН-вылова обского муксуна в 1996-2013 гг.

Fig. 4. Dynamics of official and IUU catch of Ob muksun in 1996-2013

1999-2005 гг. составляла 1858 тонн. В отдельные годы ННН-вылов превышал официальный в 4-5 раз. Причём, представленные оценки не могут быть завышенными, поскольку в эталонный период также существовал ННН-вылов. Рассмотренная ситуация с увеличением интенсивности промысла привела к подрыву запаса муксуна. Важно отметить, что запас был подрван за период равный продолжительности жизни всего одной генерации (15-18 лет), а для восстановления биоресурса потребуются многие десятилетия [Матковский, 2021].

Зависимость коэффициента промыслового возврата от условий естественного воспроизводства рыб и фонда отложенной икры. Поскольку коэффициент

промыслового возврата зависит от суммарного вылова генерации и её численности, то его значения могут изменяться в зависимости от урожайности поколений и уровня их эксплуатации. Поскольку урожайность генераций муксуна тесно связана с предшествующим благоприятным гидрологическим режимом [Матковский, 2006], то в годы высокой водности значения коэффициента промыслового возврата от икры повышаются (рис. 5).

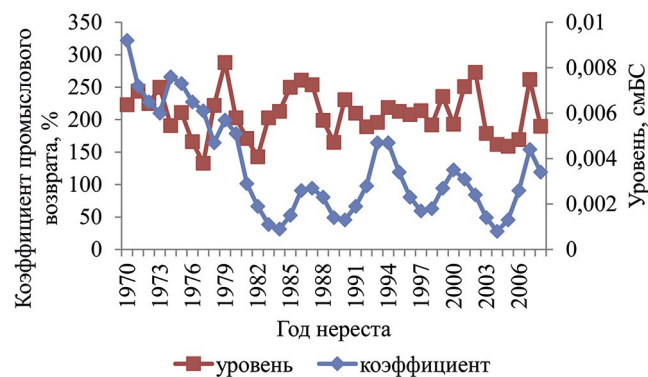


Рис. 5. Зависимость коэффициента промыслового возврата (от икры) муксуна от среднего годового уровня воды в створе Обь-Салехард за период 1970-2006 гг.

Fig. 5. Dependence of the coefficient of commercial return of muksun (from eggs) on the average annual water level in the Ob-Salekhard section for the period 1970-2006

Связь между фондом отложенной икры и последующей численностью молоди не всегда носит пропорциональный характер, и в отдельные годы может иметь даже обратную зависимость (рис. 6), что как раз объясняется влиянием условий среды на формирование новых генераций [Никольский, 1965; Засосов, 1970]. Поэтому необязательно, что высокий фонд отложенной икры будет гарантировать многочисленное

потомство. Однако, в свою очередь, высокая численность молоди увеличивает последующую численность производителей, что положительно сказывается на фонде икры.

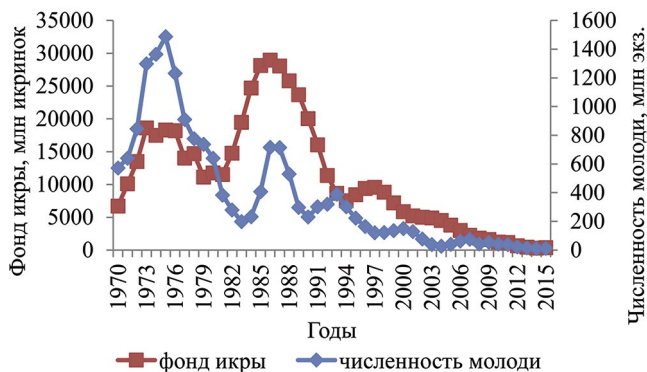


Рис. 6. Динамика фонда отложенной икры и численности молоди муксуна массой 1,5 г в 1970-2016 гг.

Fig. 6. Dynamics of the stock of deposited eggs and the number of juvenile muksun weighing 1.5 g in 1970-2016

Использование коэффициентов промыслового возврата для регулирования рыболовства. Связь коэффициента с уровнем естественного воспроизводства вида позволяет получать важную информацию для регулирования рыболовства. Между численностью молоди муксуна и последующим суммарным выловом генерации существует прямолинейная зависимость (рис. 7). Тем не менее, коэффициент промыслового возврата снижается с увеличением численности поколения и зависимо от него улова (рис. 8-9). Причём, численность является более приоритетным фактором. Коэффициент детерминации в первом случае (рис. 8) был выше, чем во втором (рис. 9). Таким образом, уровень изъятия генерации со снижением

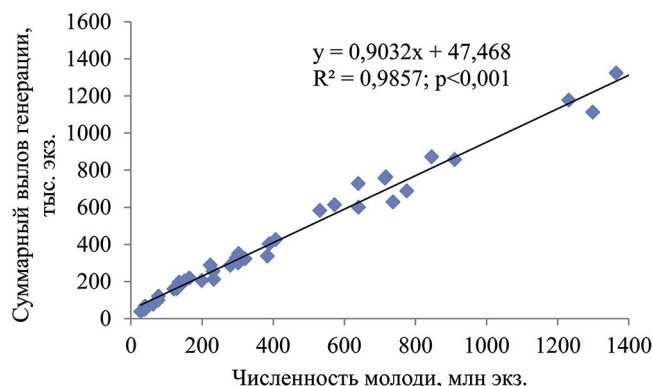


Рис. 7. Зависимость суммарного вылова генераций муксуна от начальной численности молоди массой 1,5 г

Fig. 7. Dependence of the total catch of muksun generations on the initial number of juveniles weighing 1.5 g

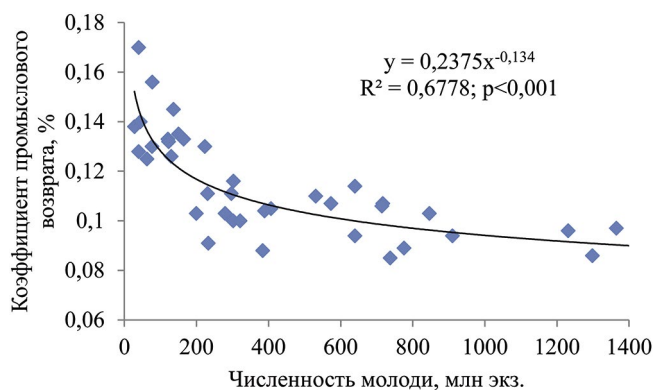


Рис. 8. Зависимость коэффициента промыслового возврата от начальной численности молоди муксуна массой 1,5 г

Fig. 8. Dependence of the coefficient of commercial return on the initial number of juvenile muksun weighing 1.5 g

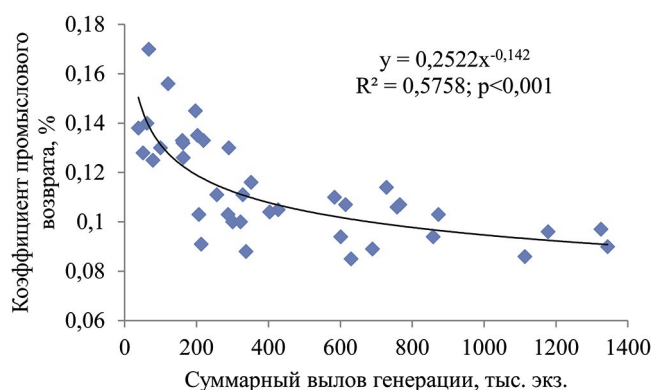


Рис. 9. Зависимость коэффициента промыслового возврата молоди муксуна массой 1,5 г от суммарного вылова генерации

Fig. 9. Dependence of the coefficient of commercial return of juvenile muksun weighing 1.5 g on the total catch of the generation

численности молоди возрастает, что и далее ухудшает состояние естественного воспроизводства муксуна.

Исходя из многолетней динамики изменения коэффициента промыслового возврата (рис. 10) с учётом выявленных зависимостей (рис. 7-9) следует, что запрет промысла муксуна должен вводиться при следующих условиях: увеличении коэффициента выше 0,13, уменьшении промысловой численности запаса до 4,5 млн экз., снижения численности молоди массой 1,5 г до 200 млн экз. и суммарного вылова генерации до 300 тыс. экз. Такая ситуация отмечена для поколения 1995 года рождения с численностью молоди 1,5 г равной 222,7 млн экз. Исходя из анализа состояния промысловой численности запрет на промысел муксуна мог быть введён в 1998 г., а не в 2014 г., то есть охранные меры запоздали более чем на 15 лет. Хотя из уровня ННН-промысла (рис. 4) этот запрет ничего не решил.



Рис. 10. Многолетняя динамика коэффициента промыслового возврата от молоди муксуна массой 1,5 г в период 1970-2008 гг.

Fig. 10. Long-term dynamics of the coefficient of commercial return from juvenile muksun weighing 1.5 g in the period 1970-2008

Следует отметить, что коэффициент промыслового возврата муксуна начал постепенно возрастать с середины 1980-х гг. и – после 1994 г., когда уровень воспроизводства существенно снизился, высокая интенсивность промысла продолжала сохраняться, о чём свидетельствуют возросшие значения коэффициентов. При этом влияние оказывалось уже на сравнительно малочисленные нерестовые стада, тем самым окончательно подрывая естественное воспроизводство.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты исследования свидетельствуют о важности правильного определения коэффициентов промыслового возврата, поскольку это позволяет получить много дополнительной информации о состоянии биоресурса и оказываемом на него воздействии. Полученные результаты подтвердили обоснованность замены ранее действовавших коэффициентов (рис. 1), так как их применение создавало искажённое представление о восстановлении запаса муксуна (табл. 1), хотя вид продолжал сокращать свою численность (рис. 2). В итоге из-за возросшей интенсивности промысла и значительного браконьерского изъятия (рис. 4) к 2012 г. запас муксуна был подорван. В 2011 г. были изъяты последние многочисленные поколения муксуна. Начиная со второй половины 1990-х гг. перестал соблюдаться режим рыболовства. Сохранить биоресурс не позволила даже разработка сравнительно щадящего общего допустимого улова (ОДУ) на основе продукции выживших рыб [Матковский, 2001, 2018; Руденко, 2015; Меншуткин, Егорова, 2015].

В период с 1994 по 2008 гг. производители муксуна до нерестилищ практически не доходили, по-

сколькукратно возросла промысловая смертность, которая и так была сравнительно высокой – 33,6% [Полымский, 1986]. Начиная с 1998 г. численность популяции, особенно нерестовой её части, неуклонно снижалась. Генерации муксуна, начиная с 1995 года рождения испытывали повышенный уровень эксплуатации. Результаты полностью подтвердили ранее сделанные выводы [Крохалевский, Матковский, 2015; Матковский, 2019] о необходимости, наряду с объёмами ОДУ, регулировать и интенсивность промысла путём ограничения мест, сроков и количества орудий лова.

Динамика коэффициентов промыслового возврата наглядно проиллюстрировала, каким образом происходит подрыв запаса в условиях отсутствия соблюдения режима рыболовства и формального регулирования промысла с помощью ОДУ. На первом этапе происходит существенное сокращение численности нерестовых стад, а на втором, поскольку высокая интенсивность промысла сохраняется, также быстро снижается численность потомства. Как следствие, для нарушения нормального функционирования популяции достаточно повышенная интенсивность промысла на протяжении жизни одной генерации.

Ответ на вопрос, почему коэффициент промыслового возврата отражает происходящие изменения как в интенсивности промысла, так и в уровне естественного воспроизводства содержится в уравнении 1. Если вместо численности молоди подставить начальную промысловую численность или численность молоди, умноженную на коэффициент выживаемости, то коэффициент будет характеризовать уровень использования запаса (F/Z), выраженный в процентах, что следует из уравнения Ф.И. Баранова [1918]. Таким образом, если в уравнении 1 числитель и знаменатель умножить на коэффициент выживаемости, то оно примет следующий вид:

$$k = \frac{sF}{Z} \cdot 100,$$

где s – коэффициент выживаемости молоди до возраста вступления в промысел. Поскольку выживаемость рыб до вступления в промысел определяется естественной смертностью и средняя ее величина не сильно варьирует, то основным фактором, от которого зависит коэффициент промыслового возврата, является уровень использования запаса. Поскольку у малочисленных поколений выживаемость более низкая, то это подтверждает факт увеличения их промыслового изъятия в период подрыва запаса.

Обратная связь между коэффициентом промыслового возврата и численностью молоди (рис. 8) установлена не только для муксуна, но и для других ви-

дов и бассейнов [Пятикопова и др., 2017; Семенченко, 2018]. Такая ситуация обуславливается высокой интенсивностью промысла при снижении численности генераций, поэтому единственным путём сохранения популяций является внесение соответствующих изменений в правила рыболовства, а также создание охранных заповедных акваторий.

Поскольку коэффициент отражает уровень использования запаса через численность потомства, то можно определить границу значения коэффициента, когда степень эксплуатации не превышает допустимого значения. Например, для молоди муксуна массой 1,5 г это 0,105% (рис. 10). Данное значение регистрировалось в 1985 г.

Поскольку численность молоди определённым образом зависит от численности родительского стада, то коэффициент может служить одним из биолого-промысловых ориентиров регулирования рыболовства. Результаты свидетельствуют, что для рационального промысла ежегодно можно изымать лишь определённую часть генерации, которая наряду с другими последующими уловами не позволит превысить общего допустимого изъятия для всех лет промысла, но, к сожалению, на практике реализовать такое дифференцированное селективное изъятие крайне сложно.

Положительным качеством рассматриваемых коэффициентов является возможность их проверки. При этом наиболее надёжным показателем служит коэффициент выживаемости (уравнение 2), поскольку от него зависит численность биоресурса. Из уравнения следует, что чем ниже предшествующая выживаемость, тем ниже численность на начало периода i и тем выше коэффициент промыслового возврата, то есть между показателями существует обратная связь. Связь выживаемости с коэффициентом можно проанализировать и по отдельным периодам жизненного цикла молоди. Поэтому построение зависимостей изменения выживаемости от фонда отложенной икры до годовалого возраста при известной скорости роста молоди служит удобным инструментом для определения входных данных для расчёта численности молоди разных возрастов и массы [Матковский, 2017].

Коэффициенты промыслового возврата зависят не только от предшествующей, но и от текущей выживаемости рыб. У многочисленных генераций, появляющихся в благоприятных условиях воспроизводства и имеющих более высокую выживаемость [Матковский, 2023] суммарный вылов увеличивается (рис. 7). Однако при этом коэффициент промыслового возврата, а, следовательно, и уровень эксплуатации не сильно возрастают (рис. 9), что подтверждает высо-

кую значимость многочисленных генераций в восстановлении численности популяций.

Выполненное тестирование показало, что действующие в настоящее время коэффициенты [Методика исчисления ..., 2020¹], дают объективное представление о выживаемости молоди сиговых рыб. Поскольку корректность оценок зависит не только от правильного учёта выживаемости, но и начальной численности, то особый интерес представляет тест-анализ от средней плодовитости рыб, так как в этом случае присутствуют оба критерия. При использовании в искусственном воспроизводстве коэффициентов, разработанных на естественных популяциях, следует учитывать, что рыболовная молодь должна быть полностью адаптирована к условиям естественной среды обитания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Коэффициент промыслового возврата отражает уровень использования генерации промыслом при условии учёта выживаемости особей до возраста пополнения. Коэффициенты промыслового возврата могут применяться для решения следующих практических задач:

1. Прогнозирования ожидаемого вылова.
2. Определения изменения интенсивности промысла и уровня естественного воспроизводства.
3. В качестве критерия регулирования интенсивности рыболовства, запрета промысла и восстановления биоресурса.
4. Оценки эффективности работ по искусственному воспроизводству.
5. Определения объёмов ННН-промысла.

Широкий спектр применения коэффициента обуславливается содержанием и извлечением из него четырёх параметров: численности, накопленного улова, выживаемости и уровня эксплуатации. Положительными свойствами коэффициента являются установление его на фактических данных, возможность проверки и прогнозирования результатов.

Коэффициент чувствителен к интенсивности промысла и к изменению уровня естественного воспроизводства. Чем ниже уровень воспроизводства, тем выше полнота изъятия малочисленных генераций и тем сложнее восстанавливать биоресурс.

В периоды благополучного состояния запасов значения коэффициентов соответствуют неким относительным величинам нормы реакции популяции на оказываемое воздействие. Для каждого биоресурса можно определить граничную величину коэффициента, исключающую чрезмерное воздействие на запас.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания Тюменского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («Госрыбцентр»).

ЛИТЕРАТУРА

- Анпилова В.И. 1967. Биология и разведение баунтовского сига *Coregonus lavaretus baunti* // Известия ГосНИОРХ. Т. 63. С. 74-123.
- Баранов Ф.И. 1918. К вопросу о биологических основаниях рыбного хозяйства // Известия отделения рыбоводства и научно-промысловых исследований. Т. 1. С. 84-128.
- Богданов В.Д. 2023. Разработка комплексной Программы воспроизводства ценных видов сиговых рыб в Обь-Иртышском рыбохозяйственном районе // II Лавёровские чтения Арктика: актуальные проблемы и вызовы. Сб. научн. мат. Всерос. конф. с межд. участием, Архангельск. 13-17 ноября 2023 года. Архангельск: Типография № 2. С. 514-518.
- Буланов Д.П., Головкова Т.А., Ефимов М.В., Леонов А.Г. 1985. Выращивание сеголеток сига-пыжьяна в прудах Северо-Запада // Тез. докл. III Всес. совещ. по биологии и биотехнике разведения сиговых рыб (ноябрь 1985 г., г. Тюмень). Тюмень. С. 256-259.
- Визер А.С. 2010. Опыт выращивания молоди сиговых для зарыбления озера Чаны // Биология, биотехника разведения и состояние запасов сиговых рыб. Мат. VII межд. научн.-произв. совещ. (Тюмень, 16-18 февраля 2010 года). Тюмень: Госрыбцентр. С. 207-210.
- Визер Л.С., Ростовцев А.А. 2011. Опыт использования озера-спутника Урюм для организации пастбищного рыбоводства на оз. Чаны // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. № 1(217). С. 82-87.
- Горбунова З.А., Дмитренко Ю.С., Рыжков Л.П. 1969. Рыбоводство на малых озёрах Карелии. Петрозаводск: Карелия. 64 с.
- Дзюменко Н.Ф., Дзюменко З.М. 1981. Опыт выращивания молоди омуля и пеляди в Бельских прудах (Иркутская область) // Сб. научн. трудов ГосНИОРХ. Вып. 172. С. 55-65.
- Дрягин П.А. 1948. Промысловые рыбы Обь-Иртышского бассейна // Известия ГосНИОРХ. Т. 25. Вып. 2. С. 3-105.
- Егоров Е.В., Ростовцев А.А., Зайцев В.Ф. 2010. Современное состояние и перспективы сиговодства на юге Западной Сибири // Биология, биотехника разведения и состояние запасов сиговых рыб. Мат. VII межд. научн.-произв. совещ. (Тюмень, 16-18 февраля 2010 года). Тюмень: Госрыбцентр. С. 137-140.
- Егоров Е.В., Прусевич Л.С., Кабиев Т.А., Поздняк И.В. 2016. Выращивание товарной рыбы в оз. Сартлан // Биология биотехника разведения и состояние запасов сиговых рыб. Мат. IX межд. научн.-произв. совещ. (Тюмень, 1-2 декабря 2016 года). Тюмень: Госрыбцентр. С. 28-30.
- Засосов А.В. 1970. Теоретические основы рыболовства. М.: Пищ. пром-ть. 292 с.
- Ирискина Т.А., Ниязов Н.С., Шеренкова И.П. 1985. Методы выращивания сиговых рыб в заморных озёрах Тюменской области // Тез. докл. III Всес. совещ. по биологии и биотехнике разведения сиговых рыб (ноябрь 1985 г., г. Тюмень). Тюмень: Облстат. С. 285-287.
- Крохалевский В.Р., Матковский А.К. 2015. Проблемы управления промыслом с помощью ОДУ и квот вылова в водоемах Сибири // Вопросы рыболовства. Т. 16. № 4. С. 506-522.
- Мамонтов Ю.П., Гелецкий Н.Е., Литвиненко А.И., Палубис С.Э., Печников А.С., Чебанов М.С. 2000. Искусственное воспроизводство промысловых рыб во внутренних водоёмах России. Санкт-Петербург: ГосНИОРХ. 288 с.
- Матковский А.К. 2001. Алгоритмы метода «восстановленного запаса рыб» для изучения изменения промыслового запаса и прогнозирования общедопустимых уловов (ОДУ) на примере обского чира (*Coregonus nasus*) // Биология, биотехника разведения и промышленного выращивания сиговых рыб. Мат. VI Всерос. научн.-произв. совещ. Тюмень: СибрыБИИпроект. С. 95-98.
- Матковский А.К. 2006. Основные закономерности динамики численности муксуна *Coregonus muksun* р. Обь // Вопросы рыболовства. Т. 7. № 3(27). С. 505-521.
- Матковский А.К. 2017. Один из способов определения приёмной ёмкости водных объектов на примере рыб Обь-Иртышского бассейна // Вопросы рыболовства. Т. 18. № 3. С. 383-395.
- Матковский А.К. 2018. Необходимость учёта селективности промысла при реализации концепции устойчивого улова // Рыбохозяйственные водоёмы России фундаментальные и прикладные исследования. II Всерос. научн. конф. с межд. участием (2-4 апреля 2018 г. Санкт-Петербург). Санкт-Петербург: ГосНИОРХ. С. 265-270.
- Матковский А.К. 2019. Причины сокращения запасов полупроходных сиговых рыб Обь-Иртышского бассейна // Вестник рыбохоз. науки. Т. 6. № 1(21). С. 27-48.
- Матковский А.К. 2021. Определение эффективности работ по искусственному воспроизводству пеляди *Coregonus peled* в Обь-Иртышском бассейне // Рыбное хозяйство. № 4. С. 53-60. DOI: 10.37663/0131-6184-2021-4-53-60.
- Матковский А.К. 2023. Изучение естественной смертности у муксуна и пеляди р. Обь путем построения зависимостей убыли численности поколений // Биология внутренних вод. № 3. С. 407-419. DOI: 10.31857/S0320965223030154.
- Меншуткин В.В., Егорова Н.А. 2015. Применение имитационного моделирования при оценке общего допустимого улова // Вопросы рыболовства. Т. 16. № 3. С. 367-375.

- Никольский Г.В. 1965. Теория динамики стада рыб. М.: Наука. 382 с.
- Полымский В.Н. 1986. Естественная и промысловая смертность полупроходных сиговых рыб Обского бассейна в период анадромной миграции // Сб. научн. тр. ГосНИОРХ. Вып. 243. С. 30-33.
- Пятикопова О.В., Войнова Т.В., Распопов В.М. 2017. Оценка промыслового возврата сельди-черноспинки *Alosa kessleri kessleri* в реке Волга в 2010-2014 гг. // Вопросы рыболовства. Т. 18. № 2. С. 259-264.
- Руденко Г.П. 2015. Способ определения общего допустимого улова рыбы и влияние интенсивности промысла на продукционные показатели популяции рыб (методическое руководство). Санкт-Петербург: ГосНИОРХ. 34 с.
- Семенченко С.М. 2000. Способ стимуляции вылупления личинок сиговых рыб // Искусственное воспроизводство промысловых рыб во внутренних водоёмах России. Санкт-Петербург: ГосНИОРХ. С. 212-216.
- Семенченко С.М. 2018. Эффективность искусственного воспроизводства посольской популяции байкальского омуля *Coregonus migratorius* // Вестник рыбохоз. науки. Т. 5. № 2(18). С. 4-23.
- Сергиенко Л.Л., Каргополов В.Б., Кугаевская Л.В. 1985. Способы подращивания личинок сиговых для зарыбления нагульных водоёмов // Тез. докл. III Всес. совещ. по биологии и биотехнике разведения сиговых рыб (ноябрь 1985 г., г. Тюмень). Тюмень: ГВЦ Облстат. С. 348-351.
- Шибяев С.В. 2018. Формализация методики оценки промыслового возврата при искусственном воспроизводстве водных биоресурсов // Вопросы рыболовства. Т. 19. № 2. С. 247-264.
- scientific and production meeting. (Tyumen, February 16-18, 2010). Tyumen: Gosrybtcentr. P. 207-210. (In Russ.).
- Vizer L. S., Rostovtsev A.A. 2011. Experience of using the satellite lake Uryum for organizing pasture fish farming on the lake. Chany // Siberian Bulletin of Agricultural Science. № 1(217). P. 82-87. (In Russ.).
- Gorbunova Z.A., Dmitrenko Yu.S., Ryzhkov L.P. 1969. Fish farming on small lakes of Karelia. Petrozavodsk: Karelia Publishing House. 64 p. (In Russ.).
- Dzyumenko N.F., Dzyumenko Z.M. 1981. Experience of growing juvenile Baikal cisco and peled in Belskie ponds (Irkutsk region) // Coll. scient. papers of GosNIORKh. V. 172. P. 55-65. (In Russ.).
- Dryagin P.A. 1948. Commercial fish of the Ob-Irtysh basin // Izvestiya GosNIORKh. V. 25. Iss/ 2. P. 3-105. (In Russ.).
- Egorov E.V., Rostovtsev A.A., Zaitsev V.F. 2010. Current state and prospects of whitefish farming in the south of Western Siberia // Biology, biotechnology of breeding and state of whitefish stocks. Proc. of the VII Intern. Scient. and Prod. Meeting. (Tyumen, February 16-18, 2010). Tyumen: Gosrybtcentr. P. 137-140. (In Russ.).
- Egorov E. V., Prusevich L. S., Kabiyev T.A., Pozdnyak I.V. 2016. Growing commercial fish in Lake Sartlan // Biology, Biotechnics, and Stock Status of Whitefish. Proc. of the IX Intern. Scient. and Produc. Meeting. (Tyumen, December 1-2, 2016). Tyumen: Gosrybtcentr. P. 28-30. (In Russ.).
- Zasosov A.V. 1970. Theoretical Foundations of Fisheries. Moscow: Food Industry. 292 p. (In Russ.).
- Iriskina T.A., Niyazov N.S., Sherenkova I.P. 1985. Methods of Growing Whitefish in Lakes of the Tyumen Region Subject to Fish Famines // Abstr. of the III All-Union Conf. on Biology and Biotechnics of Whitefish Breeding (November 1985, Tyumen). Tyumen: Oblstat. P. 285-287. (In Russ.).
- Krokhalevsky V.R., Matkovsky A.K. 2015. Problems of fisheries management using total allowable catches and catch quotas in Siberian water bodies // Voprosy rybolovstva. V. 16. № 4. P. 506-522. (In Russ.).
- Mamontov Yu.P., Gepetsky N.E., Litvinenko A.I., Palubis S.E., Pechnikov A.S., Chebanov M.S. 2000. Artificial reproduction of commercial fish in inland waters of Russia. St. Petersburg: GosNIORKh. 288 p. (In Russ.).
- Matkovsky A.K. 2001. Algorithms of the «restored fish stock» method for studying changes in commercial stocks and forecasting total allowable catches (TACs) using the Ob broad whitefish (*Coregonus nasus*) as an example // Biology, bioengineering of breeding and industrial cultivation of whitefish. Proc. of the VII All-Russ. Scient. and Production Conf. Tyumen: Sibrybllproect. P. 95-98. (In Russ.).
- Matkovsky A.K. 2006. Main patterns of population dynamics of muksun *Coregonus muksun* in the Ob River // Voprosy rybolovstva. V. 7, № 3 (27). P. 505-521. (In Russ.).
- Matkovsky A.K. 2017. One of the methods for determining the receiving capacity of water bodies using the Ob-Irtysh basin as an example of fish // Voprosy rybolovstva. V. 18, № 3. P. 383-395. (In Russ.).
- Matkovsky A.K. 2018. The Need to Consider Fishery Selectivity When Implementing the Sustainable Catch Concept //

REFERENCES

- Anpilova V.I. 1967. Biology and breeding of the Baunt whitefish *Coregonus lavaretus baunti* // Izvestiya GosNIORKh. V. 63. P. 74-123. (In Russ.).
- Baranov F.I. 1918. On the question of the biological foundations of fisheries // News of the department of fish farming and scientific and commercial research. V.1. P. 84-128. (In Russ.).
- Bogdanov V.D. 2023. Development of a comprehensive program for the reproduction of valuable whitefish species in the Ob-Irtysh fishery region // II Laverov Readings Arctic: current problems and challenges. Coll. scient. papers of the All-Russ. conf. with intern. participation. Arkhangelsk, November 13-17, 2023. Arkhangelsk: Printing House № 2. P. 514-518. (In Russ.).
- Bulanov D.P., Golovkova T.A., Efimov M.V., Leonov A.G. 1985. Growing Humpback whitefish fingerlings in ponds of the North-West // Abstr. of the III All-Union Meeting on the Biology and Biotechnology of Whitefish Breeding (November 1985, Tyumen). Tyumen. P. 256-259. (In Russ.).
- Vizer A.S. 2010. Experience in growing whitefish juveniles for stocking Lake Chany / Biology, biotechnology of breeding and the state of whitefish stocks // Mat. of the VII intern.

- Fundamental and Applied Research on Fishery Reservoirs of Russia. II All-Russ. Scient. Conf. with Intern. Particip. (April 2-4, 2018, St. Petersburg). St. Petersburg: GosNIORKh. P. 265-270. (In Russ.).
- Matkovsky A.K.* 2019. Causes of the Decline in Semi-Admiral Whitefish Stocks in the Ob-Irtysh Basin // Bulletin of Fishery Science. V. 6. № 1 (21). P. 27-48. (In Russ.).
- Matkovsky A.K.* 2021. Determining the Efficiency of Artificial Reproduction of Peled *Coregonus peled* in the Ob-Irtysh Basin // Fisheries. № 4. P. 53-60. DOI: 10.37663/0131-6184-2021-4-53-60. (In Russ.).
- Matkovsky A.K.* 2023. Study of natural mortality in muksun and peled of the Ob River by constructing dependencies of generation abundance decline // Biology of inland waters. № 3. P. 407-419. DOI: 10.31857/S0320965223030154. (In Russ.).
- Menshutkin V.V., Egorova N.A.* 2015. Application of simulation modeling in assessing the total allowable catch // Voprosy rybolovstva. V. 16. № 3. P. 367-375. (In Russ.).
- Nikolsky G.V.* 1965. Theory of fish stock dynamics. Moscow: Nauka. 382 p. (In Russ.).
- Polymsky V.N.* 1986. Natural and commercial mortality of semi-anadromous whitefishes of the Ob basin during anadromous migration // Coll. of scient. papers GosNIORKh. V. 243. P. 30-33. (In Russ.).
- Pyatikopova O.V., Voinova T.V., Raspopov V.M.* 2017. Assessment of commercial return of black-backed shad *Alosa kessleri kessleri* in the Volga River in 2010-2014 // Voprosy rybolovstva. V. 18. № 2. P. 259-264. (In Russ.).
- Rudenko G.P.* 2015. Method for Determining the Total Allowable Catch of Fish and the Impact of Fishing Intensity on Fish Population Performance (Methodological Guide). St. Petersburg: GosNIORKh. 34 p. (In Russ.).
- Semenchenko S.M.* 2000. Method for Stimulating the Hatching of Whitefish Larvae // Artificial Reproduction of Commercial Fish in Inland Waters of Russia. St. Petersburg: GosNIORKh. P. 212-216. (In Russ.).
- Semenchenko S.M.* 2018. Efficiency of Artificial Reproduction of the Posolsk Population of Baikal cisco *Coregonus migratorius* // Bulletin of Fisheries Science. V. 5. № 2 (18). P. 4-23. (In Russ.).
- Sergienko L.L., Kargopolov V.B., Kugaevskaya L.V.* 1985. Methods for rearing whitefish larvae for stocking fattening reservoirs // Abstr. of the III All-Union Conf. on Biology and Biotechnics of Whitefish Breeding (November 1985, Tyumen). Tyumen. P. 348-351. (In Russ.).
- Shibaev S.V.* 2018. Formalization of the methodology for assessing commercial returns during artificial reproduction of aquatic bioresources // Voprosy rybolovstva. V. 19. № 2. P. 247-264. (In Russ.).

Поступила в редакцию 24.02.2025 г.
Принята после рецензии 01.12.2025 г.



УДК 639.3.05

Аквакультура

Оценка различных аспектов работы садковых хозяйств с позиций наилучших практик аквакультуры

И.В. Бурлаченко, В.В. Барина

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»), Окружной проезд, 19, Москва, 105187
E-mail: irinabou@vniro.ru

SPIN-код: И.В. Бурлаченко – 7492-7365; В.В. Барина – 5400-3651

Цель: верификация принципов наилучших практик аквакультуры в садковых хозяйствах для определения сдерживающих факторов устойчивого развития и выработки способов снижения их действия.

Методы: использован сравнительно-аналитический метод. Информационную основу составили ответы хозяйств на анкету, разработанную в соответствии с основами наилучших практик.

Результат: наиболее высокая степень соответствия установлена для направлений, имеющих нормативное регулирование, чему способствует контроль органов исполнительной власти и контролирующих инстанций. Несколько меньшую степень соответствия дали оценки групп критериев по охране здоровья объектов и управлению деятельностью хозяйств, имеющих меньшее регулирование, но отражающих ответственность за сохранность и продуктивность рыб, эффективную работу персонала и экономические результаты деятельности. Направления охраны окружающей среды и взаимодействия с наукой и образованием в наименьшей степени соответствовали принципам наилучших практик. Это может быть связано с недостаточно проработанным нормативным регулированием и недооценкой хозяйствами значения данных направлений для последующей деятельности. Несмотря на широкий охват хозяйств анкетированием, высокая степень соответствия принципам наилучших практик относится к их ограниченному числу, предоставившему ответы. Преимущественное большинство хозяйств в различных аспектах своей работы, вероятно, имеет определённые узкие места, препятствующие эффективной деятельности, устойчивому развитию и открытому участию в исследовании.

Новизна: проведена оценка и показана высокая степень соответствия различных аспектов деятельности садковых хозяйств принципам наилучших практик аквакультуры.

Практическая значимость: исследования являются этапом разработки комплекса правил наилучших практик аквакультуры. Широкое использование в деятельности хозяйств комплекса правил может рассматриваться как методический инструмент устойчивого развития аквакультуры в стране.

Ключевые слова: садковая аквакультура, технологии аквакультуры, критерии наилучших практик, охрана здоровья рыб, анкетирование, воздействие аквакультуры на водоёмы.

Assessment of various aspects of work of cage fish farms from the perspective of best aquaculture practices

Irina V. Burlachenko, Viktoria V. Barinova

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

Objective: to verify the principles of best aquaculture practices in cage fish farming to identify constraints to sustainable development and develop ways to reduce their effects

Methods: comparative-analytical methods are used. The information basis for analysis was compiled from the responses of farmers to a questionnaire developed in accordance with principles of the best practices.

Novelty: the assessment showed a high degree of compliance of various aspects of cage farming activities with the principles of the best aquaculture practices/

Results: The highest degree of compliance is established for areas that are strictly regulated, and this is facilitated by the control of executive and regulatory authorities. A slightly lower degree of compliance was identified in the groups of criteria related to the fish health and the farm management, which have less strict regulation, but reflect the responsibility of farmers for the safety and productivity of fish, the efficient work of personnel and the economic results of their activities. Areas of activity in the field of reducing environmental impact and interaction with the scientific and educational community were least consistent with the principles of the best aquaculture practices. This may be due to insufficiently developed regulatory framework and due to underestimation by farmers of the importance of these fields for the future. Despite the wide coverage of farms in the survey, relatively few farms responded to the questionnaires, and they also showed a high degree of compliance with the principles of best practices. Most farmers who did not respond to the questionnaire probably have certain difficulties in various fields of their work, which do not allow them to work effectively, to develop sustainably and openly answer the survey questions.

Practical significance: This study is a step in the development of a set of guidelines for the best practices of aquaculture in Russia. The widespread use of this set of rules by farmers can be considered as a methodological basis for the sustainable development of aquaculture in our country.

Keywords: cage aquaculture, aquaculture technologies, criteria for best practices, questionnaire survey, fish health management, environmental impact of aquaculture.

ВВЕДЕНИЕ

Индустриальное направление российской аквакультуры сегодня занимает передовые позиции, обеспечивающие рост производства продукции этого сектора рыбного хозяйства. По данным материалов коллегий Росрыболовства ежегодный прирост колеблется в пределах 10-15%. При этом отмечается, что основой достижения высоких показателей является интенсивное развитие товарного лососеводства. Начиная с 2022 года уровень производства продукции этой группы рыб превысил объёмы выращивания традиционных для Российской Федерации объектов – карпа и растительноядных рыб¹.

Успешной технологической основой культивирования лососевых рыб как в России, так и в общемировом масштабе, явилось применение садковой технологии. Считается, что садковая технология использовалась в Китае более 800 лет назад. Однако своё беспрецедентное развитие садковая технология получила в 70-е годы XX века, явившись основой взрывного роста коммерческого лососеводства, начавшегося в Норвегии. Значительным преимуществом садкового выращивания перед другими системами культивирования рыб стало снижение конкуренции за водные, энергетические и людские ресурсы. Садковая аквакультура позволила существенно увеличить продуктивность технологии на единицу площади и способствовала вовлечению в производство ранее неиспользуемых водных ресурсов (озера, водохранилища, прибрежные морские зоны и т. п.).

В детальном обзоре мировой садковой аквакультуры, вышедшем в 2009 году, сообщается что в садках выращивают около 80 видов рыб. Однако, основных видов всего 8. На долю продукции атлантического лосося (*Salmo salar*) приходится около 51% продукции. Около четверти объёмов продукции суммарно формирует производство радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*), желтохвоста (*Seriola quinqueradiata*), пангасиуса (*Pangasius spp.*) и кижуча (*Oncorhynchus kisutch*). На долю производства продукции тилапии (*Oreochromis niloticus*), лаврака (*Dicentrarchus labrax*), дорады (*Sparus aurata*) приходится ещё 16%. Продукция оставшихся 70 видов рыб не превышает 10%. Мировыми лидерами садковой аквакультуры являются Норвегия, Чили и Китай, производящие в общей сложности около 70% продукции [Aquaculture en cage, 2009]. Основными объектами российской аквакультуры в садках

является радужная форель и атлантический лосось. По экспертным оценкам в последние пять лет на их долю приходилось от 70 до 87% рыбы, выращенной в садках, что максимально составляло до 35% объёмов всей продукции аквакультуры страны. В то же время, объектами садковой аквакультуры в России также являются осетровые, карп и сиговые виды рыб.

Развитие садковой аквакультуры, помимо очевидного положительного эффекта, сопряжено с определёнными рисками. Эти риски широко известны и описаны во многих источниках. В частности, речь идёт об органическом загрязнении продуктами жизнедеятельности выращиваемых рыб и неиспользованными остатками кормов, ухудшении качества вод и нарушении водных экосистем, распространении заболеваний, воздействии лекарственных препаратов, используемых при выращивании рыб [Mente et al., 2006; Renato et al., 2019; Пятикопова и др., 2024, 2025; Бедрицкая и др., 2025].

Современные подходы к объективной оценке различных сторон садкового рыбоводства позволяют прогнозировать эффективную производственную деятельность и обеспечить контроль и сохранение экологического равновесия со средой выращивания рыб. В данном аспекте применение принципов «наилучших практик аквакультуры» (НПА) позволяет хозяйствам снизить подверженность рискам и увеличить устойчивость и эффективность их работы. Эти принципы, широко используемые в странах с развитой аквакультурой, представляют собой систему стандартов или рекомендаций, применяемых различными организациями и ассоциациями аквакультуры [Environmental Best ..., 2008, Washington, Ababouch, 2011]. В обобщенном и систематизированном виде концепция наилучших практик в аквакультуре России отсутствует, однако её отдельные элементы используются довольно широко. В частности, на законодательном уровне прописаны принципы и алгоритмы получения доступа к водным ресурсам для целей аквакультуры, действует регулирование и методическое обеспечение вопросов ветеринарии и системы охраны здоровья выращиваемых объектов, имеется технологическая поддержка в виде инструктивных и методических материалов по культивированию различных объектов [Головина и др. 2003; Жигин, 2011; Антипова и др., 2011; Барулин и др., 2016; Мельченков и др., 2019].

Ранее нами были начаты работы по оценке возможности применения принципов «наилучших практик» для аквакультуры России. Разработаны критерии и показатели устойчивости деятельности в аспекте нормативного регулирования, экологии, технологий

¹ Коллегия. Итоги деятельности Федерального агентства по рыболовству за 2023 год и задачи на 2024 год. Материалы к заседанию. 2024 год. Апрель 2024 г., 122 с. <https://fish.gov.ru/wp-content/uploads/2024/03/sbornik-25-03-2024.pdf>. 19.12.2025.

выращивания, безопасности продукции и объектов. Экспертная оценка угроз, выполненная для различных типов хозяйств аквакультуры на основе предложенных показателей, выявила высокую уязвимость садкового рыбоводства, связанную с зависимостью от поставок посадочного материала и его качества, технологичного оборудования, высокоэффективных кормов и вакцин. В связи с высокой значимостью садкового направления в развитии аквакультуры России, представлялось целесообразным провести верификацию принципов наилучших практик в хозяйствах этого типа для определения сдерживающих факторов устойчивого развития и выработки принципов снижения их действия.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Работа была выполнена в 2024 году и явилась продолжением ранее начатых исследований, посвященных применению принципов наилучших практик в отечественной аквакультуре [Бурлаченко и др., 2024]. Использовали сравнительно-аналитический метод исследований. Информационную основу составили ответы хозяйствующих субъектов на опросные листы, разработанные в соответствии с принятыми основами наилучших практик аквакультуры². Опросный лист для анкетирования рыбоводных хозяйств, в части принципов наилучших практик аквакультуры объединил 55 вопросов (критериев) по 5 основным направлениям (принципам), охватывающим различные аспекты деятельности хозяйства аквакультуры, которые обеспечивают устойчивость его функционирования. Для части направлений вопросы объединили в подгруппы, позволившие детализировать их специфические характеристики. Вопросы предполагали однозначный положительный ответ или его отсутствие. Однако, анкетизируемые были вправе не предоставлять ответы на какие-либо вопросы, если не считали целесообразным на них отвечать. Соответствие обследованных хозяйств по отдельным критериям и их комплексу по направлениям наилучшим практикам аквакультуры принималось при условии достижения итоговых оценок 80% и выше. Следует отметить, что в анкету входили дополнительные вопросы информационного характера, позволившие получить дополнительные характеристики хозяйств, в той или иной мере, связанные с их деятельностью.

При содействии Управления науки и аквакультуры Росрыболовства и отраслевых ассоциаций и объеди-

нений анонимные опросные листы были направлены в хозяйства садковой аквакультуры, расположенные в Европейской части России.

Несмотря на широкий охват, возможности которого были предоставлены рыбохозяйственными общественными организациями, ответы были получены только от 8 хозяйств. Столь ограниченная обратная связь, по нашему мнению, связана с определённой долей закрытости, свойственной отечественным рыбоводным хозяйствам. Однако, основной причиной является, скорее всего, наличие в большей части хозяйств различного рода системных и производственных проблем, связанных, в частности, с рядом нормативных несоответствий отдельных аспектов деятельности, особенностями взаимодействия с ветеринарными службами, которые, в итоге, не позволяют хозяйствам соответствовать принципам наилучших практик и давать положительные ответы на значительную часть поставленных в анкете вопросов. Таким образом, полагаем, что результаты опроса имеют несколько смещённый характер, отражающий состояние наиболее благополучных и устойчиво работающих хозяйств.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ полученных от хозяйств анкет отразил многогранность отечественной аквакультуры. Участников анкетирования можно объединить только по принципу их принадлежности к садковым хозяйствам. При этом их садки расположены в разнообразных водных объектах, включая реки, озера, водохранилища и тёплые сбросные воды объектов электроэнергетики, а также морские воды (табл. 1).

По среднегодовому объёму производства продукции 60% хозяйств относятся к среднему сегменту от 100 до 1000 т. Также в опросе приняли участие одно крупное хозяйство с объёмом производства более 1000 т и два небольших (менее 100 т). Невысокие значения мощности двух последних хозяйств связаны со спецификой основного типа производимой ими продукции (посадочный материал и икра), что, однако не мешает рассматривать их как полноценные высокоинтенсивные хозяйства, т. к. для получения своей продукции они содержат ремонтно-маточные стада. Объекты выращивания были представлены традиционными для садкового рыбоводства видами – радужной форелью, атлантическим лососем, осетровыми, карпом, а также сиговыми рыбами. Продолжительность цикла выращивания представителей различных видов составила от 12 месяцев до 8 лет. Подобный разброс характеристик, несмотря на малое количество откликнувшихся хозяйств, позволил получить

² Indicators for the sustainable development of finfish Mediterranean aquaculture: Highlights from the IDAM Project/ <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/d2e95dcb-3038-491d-9f59-1444f81f06d8/content>. 19.12.2025

Таблица 1. Общая информация о садковых рыбоводных хозяйствах, принявших участие в опросе
Table 1. General information about cage fish farming enterprises that participated in the survey

Обозначение хозяйства	Объекты выращивания	Продолжительность товарного цикла, мес.	Объём производства, т/год	Водный объект
РХ 1	радужная форель	36	150	обводненный карьер
	каarp	24	160	
РХ 2	осетровые	-	-	река
РХ 3	осетровые	30	30	река
РХ 4	лососевые	20	30 000	море
РХ 5	радужная форель	12-24	500	сбросной канал ГРЭС
	каarp	16-28	350	
	осетровые	20-36	100	
РХ 6	каarp	24	120	река
	осетровые	36		
РХ 7	сиговые	<24	-	озеро
РХ 8	осетровые	48-96	70	водохранилище

информацию о возможности реализации принципов наилучших практик аквакультуры в хозяйствах, различающихся по целям производства, продолжительности технологического цикла, выращиваемым видам, используемым водным объектам.

Ответы на разделы анкеты представлены в табл. 2-7. Первая группа ответов, получившая наименование «Ответственность перед законом», объединила 7 вопросов, отражающих прозрачность деятельности хозяйства. В частности, наличие законных оснований пользования рыбоводным и земельным участками, обеспечение прослеживаемости и безопасности продукции (предоставление сведений об объёмах произ-

водства в Федеральных государственных информационных системах (ФГИС), прохождение ветеринарно-санитарного контроля продукции и подтверждение законности (наличие договоров) приобретения посадочного материала и реализации товарной продукции (см. табл. 2). Следует отметить, что соответствие/несоответствие критериям законности пользования ресурсами формируется хозяйством на стадии создания производства, а остальным критериям – в процессе производственной деятельности.

Информация, приведенная в табл. 2, позволяет говорить о высоком соответствии хозяйств критериям законного оформления и ведения деятельности.

Таблица 2. Соответствие хозяйств критериям принципа «Ответственность перед законом»
Table 2. Compliance of enterprises with the criteria of the principle “Responsibility before the law”

Критерии	Рыбоводные хозяйства								Итого соответствия критериям, %	
	РХ 1	РХ 2	РХ 3	РХ 4	РХ 5	РХ 6	РХ 7	РХ 8		
Законность пользования водными и земельными ресурсами										
Наличие Заключения Росрыболовства (его ТО) о согласовании деятельности	*	+	+	+	*	+	+	+	+	100
Наличие договора пользования рыбоводным (земельным) участком	*	+	+	+	+	+	+	+	+	100
Итого соответствия по группе										100
Уровень производства, безопасность и прослеживаемость продукции										
Соответствие заявленному в договоре минимальному ежегодному объёму выращивания	+	+	+	+	+	+	*	+	+	100
Прохождение вет.-сан. экспертизы	+	+	+	+	+	+	+	+	+	100
Отражение информации о движении продукции во ФГИС	+	+	+	+	+	+	+	+	+	100
Итого соответствия по группе										100

Критерии	Рыбоводные хозяйства								Итого соответствия критерию, %
	PX 1	PX 2	PX 3	PX 4	PX 5	PX 6	PX 7	PX 8	
Прозрачность приобретения посадочного материала и реализации продукции									
Договор(–ы) купли-продажи с поставщиком посадочного материала	+	+	+	+	+		+	+	100
Договор(–ы) с оптовыми компаниями, торговыми сетями и т. п. на реализацию продукции	+	+	+	+	+	+	*	+	100
Итого соответствия по группе									100
Итого соответствия по комплексу критериев									100

Имеющиеся отклонения (отмечены *) не были учтены в общем подсчёте, т. к. обусловлены достаточно общим характером вопросов, формулировки которых не могут учесть все нюансы возможных ответов. Например, отсутствие Заключений Росрыболовства (или его территориального органа) о согласовании деятельности у рыбоводных хозяйств PX 1 и PX 4 связано с тем, что они ведут свою деятельность на водных объектах, где рыбоводные участки не выделяются (например, обводненные карьеры, сбросные каналы объектов теплоэнергетики). Отмечаемое для хозяйства PX 7 несоответствие фактического объема выращивания заявленному и отсутствие договоров с торговыми сетями на реализацию продукции связано с тем, что хозяйство является питомником и товарную рыбу не выращивает.

Следует отметить, что большая часть вопросов, затрагиваемых в этой части анкеты, имеет достаточно жёсткое нормативное регулирование. Несоблюдение хозяйством тех или иных параметров, может иметь серьёзные административные последствия, в т.ч. принудительное прекращение деятельности в случае, например, отсутствия необходимых согласований или

лишение рыбоводного участка при недостижении заявленного минимального объёма изъятия. Одновременно, отсутствие надлежащего информирования ФГИС о происхождении продукции и её ветеринарно-санитарной экспертизы являются существенным основанием для ограничений реализации продукции.

Второе направление «Охрана здоровья объектов выращивания» включило 15 вопросов, объединённых в четыре подгруппы. Первые две – техническое (инфраструктурное) и технологическое обеспечение – характеризуют изначальную возможность хозяйства (на стадии проектирования и технологического оснащения) предусмотреть условия, необходимые для профилактики рисков, связанных с появлением и распространением болезней объектов выращивания. Содержание вопросов третьей и четвёртой подгрупп позволяет получить информацию об использовании систем защиты от болезней в текущей практической деятельности хозяйства, что отражается в наличии соответствующих регламентов, инструментов контроля и регулирования производственных процессов и взаимодействия с ветеринарной службой. Ответы хозяйств на вопросы данной группы приведены в табл. 3.

Таблица 3. Соответствие хозяйств критериям принципа «Охрана здоровья объектов выращивания»
Table 3. Compliance of enterprises with the criteria of the principle «Health Protection of Rearing Species»

Критерии	Рыбоводные хозяйства								Итого соответствия критерию, %
	PX 1	PX 2	PX 3	PX 4	PX 5	PX 6	PX 7	PX 8	
Техническое обеспечение									
Наличие санитарных пропускников для транспорта и персонала	+	+	+	-	-	+	+	+	75
Наличие условий, устройств для проведения лечебно-профилактических обработок рыб	+	+	+	-	-	+	+	+	75
Наличие карантинного участка	+	-	-	-	+	+	+	+	63
Наличие защиты садков от рыбоядных птиц и зверей	-	+	+	+	-	+	+	+	75
Итого соответствия по критериям									72

Критерии	Рыбоводные хозяйства								Итог соответствия критерию, %
	PX 1	PX 2	PX 3	PX 4	PX 5	PX 6	PX 7	PX 8	
Технологические мероприятия									
Технология обслуживания садков или их конструкция предусматривают удаление отхода чаще, чем 1 раз в год	+	-	+	+	+	+	+	+	88
Расположение садков для содержания младших возрастных групп выше по течению садков для старших возрастных групп	-	+	+	*	+	+	+	+	88
Проведение карантинирования ввозимого посадочного материала	+	+	+	+	-	+	+	+	88
Проведение плановой дезинфекции оборудования и инвентаря	+	+	+	+	-	+	+	+	88
Соответствие периода использования кормов срокам их годности, указанным на упаковке	+	+	+	+	+	+	+	+	100
Соответствие условий хранения кормов рекомендациям завода-изготовителя	+	+	+	+	+	+	+	+	100
Итог соответствия по критериям									92
Регламенты безопасности									
Наличие плана лечебно-профилактических мероприятий	+	+	+	+	+	+	+	+	100
Наличие внутреннего регламента обеспечения биологической безопасности	+	+	+	+	-	+	+	+	88
Итог соответствия по критериям									94
Взаимодействие с ветслужбой									
Договор на эпизоотологическое обследование хозяйства с районной ветеринарной станцией	+	+	+	+	+	+	+	+	100
Проведение полного ихтиопатологического обследования всех групп рыб с лабораторными исследованиями	+	+	+	+	+	+	+	+	100
Проведение регулярного клинического осмотра и патологоанатомического вскрытия с паразитологическим обследованием всех групп рыб	+	+	+	+	+	+	+	+	100
Итог соответствия по критериям									100
Итог соответствия по комплексу критериев									90

Ответы по направлению «Охрана здоровья» также как и ответы по первому направлению, свидетельствуют о высокой степени соответствия хозяйств в этой области принципам наилучших доступных практик. Минимальное среднее итоговое значение (72%) отмечено для группы вопросов, характеризующих подготовку хозяйства на этапе проектирования и установки оборудования. Как можно видеть, не во всех хозяйствах предусмотрены карантинный участок, условия или устройства для проведения лечебных обработок, санитарные пропускники для транспорта и персонала.

Перечисленные условия являются весьма важными и их планирование на начальном этапе создания хозяйства значительно облегчает его последующую деятельность и эффективность профилактики рисков заноса и распространения заболеваний. При отсутствии данных условий профилактика рисков обеспечивается технологически, в процессе производственной деятельности хозяйства или иными способами.

В частности, проведение карантина ввозимого посадочного материала является обязательным условием обеспечения ветеринарной безопасности. При

невозможности создания карантинного участка непосредственно в хозяйстве, карантинирование завозимой рыбы может быть проведено под контролем ветеринарной службы в хозяйстве поставщика. Также может быть применён принцип «всё пусто – всё занято», предполагающий единовременный завоз всего посадочного материала одной возрастной группы без последующего его дополнения новыми партиями на протяжении всего цикла выращивания. Так же без карантинирования может быть использован собственный посадочный материал хозяйства³. Выбор тех или иных подходов определяется хозяйствующим субъектом исходя из экономической целесообразности и технологических возможностей.

Ответы по комплексу критериев, касающихся технологических мероприятий, наглядно показывают, что в большинстве случаев хозяйства обеспечивают их выполнение в необходимом объёме. В этой части вопросов также важно отметить внимание, уделяемое хозяйствами качеству используемых кормов. Однозначные положительные ответы о соблюдении сроков годности и условий хранения кормов свидетельствуют об ответственном отношении хозяйств к важнейшей составляющей рыбоводного процесса и недопущении использования некачественных кормов, обладающих пониженными питательными характеристиками или токсичными свойствами, связанными с нарушениями сроков использования и условий хранения кормов.

Следующая небольшая подгруппа критериев «Регламенты безопасности» объединила два вопроса, один из которых, касающийся плана лечебно-профилактических мероприятий, является для хозяйства регуляторным обязательством и соблюдается в полной мере всеми. Второй – внутренний регламент безопасности – не относится к обязательным. Однако почти все хозяйства-участники опроса декларируют его наличие. Этот документ является основой обеспечения сохранности и благополучия выращиваемых рыб, объединяющий для каждого конкретного хозяйства техническую и технологическую специфику, необходимые мероприятия, алгоритмы действия персонала. Наличие собственных регламентов биобезопасности является подтверждением не только высокой заинтересованности хозяйствующего субъекта в поддержании благополучия и предотвращении заболеваний и гибели выращиваемых рыб, но также по-

нимания механизмов её обеспечения применительно к деятельности своего предприятия.

Внешний контроль со стороны ветеринарной службы и взаимодействие с ней также является нормативно закреплённым обязательством хозяйства. При этом периодичность и степень охвата выращиваемых рыб разнообразными ихтиопатологическими исследованиями определяется самим хозяйством. Приводимые в табл. 3 ответы хозяйств свидетельствуют о достаточно высокой степени взаимодействия рыбоводных хозяйств с ветеринарной службой.

Следует отметить, что аспекты деятельности хозяйствующих субъектов, затронутые в рассматриваемой части опросника по сравнению с его первой частью «ответственность перед законом», в значительно меньшей степени нормативно регламентированы. Из 15 вопросов около трети в той или иной степени отражены в Ветеринарных правилах содержания рыб³. Тем не менее, итоговая оценка соответствия хозяйств комплексу критериев «охрана здоровья» достаточно высока и составляет 90%. Это свидетельствует об очень высоком уровне внимания, которое уделяется хозяйствами вопросам профилактики заноса или появления заболеваний, поддержанию и контролю нормального (здорового) состояния объектов выращивания и реалистичной оценке потенциальных потерь продукции, связанных с заболеваниями.

Следующая группа критериев, объединённая названием «Экологическая ответственность», рассматривается как наиболее важная в странах, где аквакультура представляет собой один из компонентов устойчивого развития территорий. В эту группу включены несколько блоков, отражающих различные стороны функционирования хозяйства, которые оказывают или могут оказывать существенное негативное влияние на окружающую среду. К ним отнесены вопросы обращения с отходами производства и биологическими отходами. Включены разделы, связанные с использованием кормов и предотвращением попадания в окружающую среду патогенов и лекарственных средств, а также вопросы мониторинга органического загрязнения водоёмов, вызываемого деятельностью хозяйства. Ответы хозяйств на этот комплекс вопросов представлены в табл. 4.

Предотвращение попадания и накопления в окружающей среде, в том числе в водном объекте, отходов производства и биологических отходов, несущих значимые риски повышенного загрязнения химическими веществами, органического и микробиологического загрязнения, включая возбудителей заболеваний, отражаемое в анкете наличием договоров на утилизацию разного рода отходов является важным показате-

³ Приказ Минсельхоза России от 23.12.2020 N 782 «Об утверждении Ветеринарных правил содержания рыб и иных водных животных в искусственно созданной среде обитания в целях их разведения, выращивания, реализации и акклиматизации» <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202105140042>

Таблица 4. Соответствие хозяйств критериям принципа «Экологическая ответственность»
Table 4. Compliance of enterprises with the criteria of the principle «Environmental Responsibility»

Критерии	Рыбоводные хозяйства								Итого соответствия критерию, %	
	PX 1	PX 2	PX 3	PX 4	PX 5	PX 6	PX 7	PX 8		
Обращение с отходами										
Наличие договора вывоза бытовых и произв. отходов	+	+	+	+	+	+	+	+	+	100
Наличие договора утилизации биологических отходов	+	+	+	+	-	+	+	+	+	88
Итого соответствия по критериям									94	
Рациональное кормление										
Размер гранул используемых кормов соответствует массе рыб	+	+	+	+	+	+	+	+	+	100
Хозяйство использует автоматизированную раздачу корма	-	+	+	+	-	-	+	+	+	63
Ежедневный режим кормления с равными промежутками между раздачей корма	+	+	+	+	+	+	+	+	+	100
Проведение регулярных наблюдений за поведением рыб и «поедаемостью» корма	+	+	+	+	+	+	+	+	+	100
Остановка кормления при неблагоприятных температурных условиях	+	+	+	+	+	+	+	+	+	100
Номенклатура используемых кормов соответствует видам выращиваемых рыб	+	+	+	+	+	+	+	+	+	100
Итого соответствия по критериям									94	
Рациональная ветеринария										
Подтверждение поставщиком происхождения посадочного материала	+	+	+	+	+	*	+	+	+	100
Применение вакцин, пробиотиков, витаминов	+	-	+	-	+	+	+	+	+	75
Применение противомикробных препаратов по предписанию ветеринара	+	+	+	-	+	+	+	+	+	88
Итого соответствия по критериям									88	
Мониторинг качества водной среды										
Анализ качества воды в месте установки садков, периодичность, количество раз в год	+	+	+	+	+	+	+	+	+	100
Анализ качества воды на расстоянии от садков (в контрольных точках)	+	+	+	+	-	+	+	+	+	88
Мониторинг грунта под садками: органическое вещество, общий азот, общий фосфор	-	+	-	+	-	-	-	+	+	38
Итого соответствия по критериям									75	
Итого соответствия по комплексу критериев									88	

лем, положительно характеризующим хозяйства с позиций наилучших практик. Высокая доля соответствия ответов хозяйств данным условиям связана, скорее всего, с их обязательным характером и контролем их выполнения со стороны ветеринарной службы.

В отличие от законодательно регулируемых обязательств хозяйств по обращению с отходами, со-

блюдение принципов рационального использования кормов, во многом обеспечивающих поддержание благополучного состояния водной среды в районе размещения садков, в полной мере определяется непосредственно хозяйствующими субъектами. Вопросы анкеты, касающиеся кормов и техники кормления, отражают различные стороны процессов, обеспечиваю-

щих наиболее полное потребление корма и его эффективное использование для роста рыб и наименьшие его потери или излишнее потребление. Результаты опроса показывают соответствие хозяйств наилучшим практикам по 5 из 6 представленных критериев. Исключение составил вопрос об использовании автоматического режима кормления. Три хозяйства его не применяют. Однако подобная практика нередко встречается, особенно в хозяйствах с небольшими объёмами производства, где реализуется принцип кормления «по поедаемости». В целом, рассматривая группу критериев «рационального кормления», следует отметить, что в данном случае высокая степень их соблюдения хозяйствами в соответствии с принципами наилучших практик совпадает с экономическими интересами хозяйства, направленными на эффективное использование дорогостоящего ресурса кормов, и одновременно принципами ограничения органического загрязнения водной среды, связанного с метаболическими процессами рыб и непроизводительными потерями кормов.

Небольшой блок вопросов «рациональная ветеринария» отражает использование хозяйствами методов охраны здоровья объектов выращивания, оказывающих наиболее щадящее воздействие на окружающую среду. Подтверждение происхождения посадочного материала одновременно является не только гарантией наличия сопровождающей его ветеринарно-санитарной документации, но и отсутствия заболеваний. Применение для защиты объектов выращивания от заболеваний вакцин или средств, повышающих иммунный статус рыб, использование антибактериальных препаратов только в случае необходимости, установленной ветеринарным специалистом, – всё это, наряду со снижением риска экономических потерь для хозяйства, позволяет уменьшить возможное отрицательное воздействие на водную среду. Речь идёт о предотвращении дополнительного органического загрязнения водной среды при нарушении поедаемости корма больными рыбами и попадания патогенов, опасных для аборигенных рыб водоёма, антибактериальных и других активных лечебных препаратов. В целом, по этому блоку вопросов хозяйства в высокой степени соответствуют принципам наилучших практик. При этом можно отметить, что целесообразно расширение применения вакцин и препаратов общеукрепляющего типа.

Анализ ответов хозяйств на вопросы о мониторинге качества водной среды и грунта в районе размещения садков показал, что преимущественно проводится контроль органического и микробного загрязнения непосредственно в районе размещения

садков. Периодичность контроля различается. Ежедневный контроль проводит одно хозяйство, ежемесячный – три, по два хозяйства – каждые три и каждые 6 месяцев. Наблюдаемый разброс в периодичности связан, вероятно, с тем, что хозяйства, ведущие мониторинг не реже одного раза в месяц, заинтересованы в получении оперативной информации о состоянии среды выращивания их объектов и, скорее всего, с целью предотвращения возможных потерь продукции, оперативно реагируют на ухудшение показателей качества водной среды.

Контроль состояния грунта под садками проводится лишь тремя хозяйствами. По общей сумме оценок, по сравнению с другими группами критериев анкеты, ответы хозяйств на вопросы данной подгруппы в наименьшей степени соответствуют принципам наилучших практик. Это обстоятельство может быть обусловлено тем, что с формальной точки зрения обязательства по экологическому мониторингу лежат на хозяйстве. Однако содержание мониторинга и механизмы его реализации не определены и нормативно не закреплены. В этой связи отсутствие понятных условий проведения мониторинга на фоне отсроченных проявлений негативного влияния загрязнений водоёма на деятельность хозяйств, не являются побудительным мотивом для проведения ими системного мониторинга воздействия садков на водную среду.

Следующая группа критериев связана с оценкой управления деятельностью хозяйства с позиций его соответствия принципам наилучших практик. К этой сфере отнесены вопросы контроля и регистрации основных параметров технологического процесса, отражаемые в различных формах учётной документации, а также работа с персоналом, направленная на предоставление сотрудникам максимального количества информации, необходимой для грамотного и качественного выполнения их обязанностей. Ответы хозяйств на вопросы по этому направлению представлены в табл. 5.

Документирование производственной деятельности является простым средством предоставления сотрудникам хозяйства необходимой информации по перечню и объёмам текущих работ. Ведение производственных журналов одновременно обеспечивает контроль выполнения процессов и представление в динамике необходимых сведений, позволяющих оценить норму или отклонения в состоянии здоровья рыб, среды их выращивания, работе систем и оборудования, планировать использование и приобретение необходимых ресурсов, представлять сведения ветеринарной службе и многое другое. Несмотря на видимую архаичность грамотное ведение журналов

Таблица 5. Соответствие хозяйств критериям принципа «Управление деятельностью»
Table 5. Compliance of enterprises with the criteria of the «Management of Activities» principle

Критерии	Рыбоводные хозяйства								Итого соответствия критериям, %	
	PX 1	PX 2	PX 3	PX 4	PX 5	PX 6	PX 7	PX 8		
Документальный контроль										
Листы кормления	+	+	+	+	+	+	+	+	+	100
Журнал учёта расхода кормов	+	+	+	+	-	+	+	+	+	88
Журнал контроля температуры и содержания кислорода	+	+	+	+	+	+	+	+	+	100
Журнал учёта отхода	+	+	+	+	-	+	+	+	+	88
Журнал формы 11-ВЕТ	+	+	+	+	-	+	+	+	+	100
Журнал учёта движения лекарственных средств	+	+	+	-	+	+	+	+	+	88
Журнал выполнения регламентных работ рыбоводного процесса	-	+	+	-	-	+	+	+	+	75
Итого соответствия по критериям										91
Работа с персоналом										
Общедоступная схема размещения участков хозяйства	+	+	+	+	Нет ответов	+	+	+	+	100
Общедоступная схема, отражающая технологию рыбоводного процесса	+	+	+	+		+	+	+	+	100
Доступная информация о правилах использования оборудования, машин, технических средств	+	+	+	+		+	+	+	+	100
Перечень аварийных ситуаций и регламент действий персонала в случае их наступления	+	+	+	+		+	+	+	+	100
Регламенты текущих и контрольных мероприятий по поддержанию рыбоводной инфраструктуры в рабочем состоянии	+	+	+	+		+	+	+	+	100
Проведение производственных тренингов персонала	+	+	+	+		+	+	+	+	100
Повышение квалификации персонала	+	+	+	+		+	+	-	+	88
Итого соответствия по критериям										98
Итого соответствия по хозяйству (группа критериев)										95

является эффективным инструментом планирования и контроля производственных процессов. Анализ комплекса содержащейся в журналах информации позволяет своевременно реагировать на снижение эффективности работы различных направлений деятельности и своевременно принимать корректирующие решения.

Результаты опроса показывают, что в большинстве случаев ведение в хозяйствах журналов обязательно, и в общей сложности оценка соответствия этого показателя критериям наилучших практик составляет 90%.

Общеизвестно, что человеческий фактор является одной из основных причин различного рода сбоев, нарушений технологических процессов, аварийных ситуаций. В этой связи постоянная грамотная и ответственная работа с персоналом, предоставление сотрудникам необходимой информации в полном объ-

ёме, проведение тренингов и обучений значительно снижают уязвимость производственных процессов. Как видно из результатов опроса по критерию работы с персоналом все хозяйства в полной мере соответствуют принципам наилучших практик. Исключение составляет хозяйство № 5, которое в силу каких-то обстоятельств не представило ни одного ответа на вопросы этой серии. В этой связи при общем подсчёте это хозяйство по данному комплексу критериев учтено не было.

Таким образом, по группе критериев, отражающих административные аспекты производственных процессов, можно говорить, что в хозяйствах, принявших участие в анкетировании, степень соответствия принципам наилучших практик составляет 95%.

Последняя группа критериев, несмотря на небольшое количество вопросов, отражает весьма важное

направление деятельности, ассоциированное с перспективным видением дальнейшего развития хозяйства с учётом научных достижений и формируемым кадровым резервом. Ответы хозяйств на вопросы, по этому направлению представлены в табл. 6.

Из представленных в табл. 6 данных видно, что ответы хозяйств, полученные по последнему блоку вопросов, свидетельствуют, что в настоящее время даже наиболее продвинутые из них в плане использования принципов наилучших практик в большей степени полагаются на собственные силы и используют информацию о современном состоянии интересующих их научных исследований из общедоступных источников. Уровень взаимодействия с научно-исследовательскими организациями в рамках прямых договоров составляет 70%. В заметно меньшей степени (29%) хозяйства используют результаты интеллектуальной деятельности (патенты, лицензионные договоры, иные формы РИД). Зачастую хозяйства обращаются в научные организации в случае возникновения каких-либо проблем. Как правило, они связаны с заболеваниями и вопросами кормов и кормления рыб. Однако нередкой является практика обращения в научные организации с целью оптимизации технологических решений, поиска новых объектов выращивания для диверсификации производства, поиска решения для снижения биогенного воздействия садков на водный объект и т. п. В то же время выраженная заинтересованность взаимодействия с наукой не только в случае необходимости решения имеющихся проблем, но и совместного пути поиска оптимальных

решений на основе новых научных данных является осознанной основой для повышения конкурентоспособности и устойчивости работы хозяйства в дальнейшем. В этой связи приходится констатировать необходимость усиления этого взаимодействия с обеих сторон и поиск ими путей и эффективных механизмов этого усиления.

Касаясь ответов хозяйств об участии в подготовке кадров, можно отметить, что оно недостаточно высоко. Хотя, по имеющимся у нас сведениям, в настоящее время активно работающие хозяйства индустриальной аквакультуры испытывают существенный дефицит в специалистах различного уровня квалификации. Несомненно, имеют место недостаток понимания ВУЗами актуальных проблем хозяйств, недостаточно гибкая система обучения и производственных практик, зачастую не совпадающая по срокам и направленности с технологической спецификой производственных процессов, что является существенным ограничением для вовлечения студентов в практическую деятельность хозяйств.

В табл. 7 объединены количественные характеристики ответов на вопросы анкеты, полученные по отдельным критериям, их группам и комплексным направлениям, а также по отдельным рыбоводным хозяйствам, совокупность которых позволяет оценить их соответствие принципам наилучших практик.

Как видно из табл. 7 все хозяйства, от которых запрашиваемая информация была получена в полном объёме, по сумме критериев по всем направлениям, могут быть отнесены к хозяйствам, в высокой степе-

Таблица 6. Соответствие хозяйств критериям принципа «Взаимодействие с наукой и подготовка кадров»

Table 6. Compliance of Enterprises with the Criteria of the Principle “Interaction with Science and Personnel Training”

Критерии	Рыбоводные хозяйства								Итог соответствия критериям, %
	PX 1	PX 2	PX 3	PX 4	PX 5	PX 6	PX 7	PX 8	
Взаимодействие с научными организациями в области исследований, апробации, внедрения в производство новых методов, технологий, технических средств, кормов, лекарственных средств и т. д.	+	+	Нет ответов	+	-	+	+	-	71
Использование в деятельности рыбоводного хозяйства общедоступных результатов научных исследований (РИД)	+	+		+	-	+	+	+	86
Наличие договора(-в) на право использования РИД	-	+		-	-	-	+	-	29
Проведение практик для студентов на рыбоводном хозяйстве	+	+		+	+	+	+	-	86
Приём на работу студентов старших курсов и выпускников	-	+		+	+	+	+	-	71
Итог соответствия по критериям									69

Таблица 7. Обобщённая характеристика соответствия принципам наилучших практик аквакультуры по рыбоводным хозяйствам и группам критериев**Table 7.** Generalized Characteristics of Compliance with the Principles of Best Aquaculture Practices for Fish Farming Enterprises and Groups of Criteria

Критерии	Рыбоводные хозяйства								Итог соответствия по группам критериев, %
	PX 1	PX 2	PX 3	PX 4	PX 5	PX 6	PX 7	PX 8	
Ответственность перед законом, в т. ч.	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Законность пользования водными и земельными ресурсами	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Уровень производства, безопасность и прослеживаемость продукции	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Прозрачность приобретения посадочного материала и реализации продукции	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Охрана здоровья объектов выращивания, в т. ч.	90	90	94	81	65	100	100	100	90
Техническое обеспечение	75	75	75	25	25	100	100	100	72
Технологические мероприятия	83	83	100	100	83	100	100	100	92
Регламенты безопасности	100	100	100	100	50	100	100	100	94
Взаимодействие с ветслужбой	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Экологическая ответственность, в т.ч:	88	92	92	83	79	88	92	100	88
Обращение с отходами	100	100	100	100	50	100	100	100	94
Рациональное кормление	83	100	100	100	83	83	100	100	94
Рациональная ветеринария	100	67	100	33	100	100	100	100	83
Мониторинг качества водной среды	67	100	67	100	33	67	67	100	75
Управление деятельностью, в т. ч.	93	100	100	85	–	100	100	93	93
Документальный контроль	86	100	100	71	43	100	100	100	91
Работа с персоналом	100	100	100	100		100	100	86	98
Взаимодействие с наукой и подготовка кадров	60	100	–	80	40	80	100	20	69
Итог соответствия отдельных хозяйств по всему комплексу критериев	86	96	–	86	–	94	98	83	

ни реализующим принципы наилучших практик аквакультуры. То же касается характеристик групп критериев и всего их комплекса. В столбце с итоговыми показателями цветовыми индикаторами по принципу светофора выделены направления различного уровня соответствия. Наиболее высокая степень соответствия (100%) отмечена по направлениям, связанным с нормативным правовым регулированием. Это позволяет говорить, что садковые хозяйства, предоставившие свои ответы, в полной мере действуют в правовом поле. Безусловно, этому способствует достаточно жёсткий контроль со стороны органов исполнительной власти и контролирующих инстанций.

Несколько ниже – 90 и 93% соответствия составляют суммарные оценки групп критериев «Охрана здоровья объектов выращивания» и «Управление

деятельностью хозяйства». Данные области имеют меньшую, по сравнению с предыдущим комплексом, степень нормативного регулирования. Однако, именно с этими направлениями связаны сохранность выращиваемых объектов, их высокая продуктивность, эффективная работа персонала и, в целом, экономические результаты деятельности хозяйства. Всё это обеспечивает пристальное внимание и контроль управляющих структур хозяйства к данным аспектам деятельности.

Направления деятельности, связанные с экологией производства и взаимодействием хозяйств с научными и образовательными организациями, по суммарным оценкам в наименьшей степени соответствуют принципам наилучших практик аквакультуры. Это может быть объяснено недостаточно разработанным

нормативным регулированием и недооценкой хозяйств значения работы в этом направлении в ближайшем будущем и в более отдалённой перспективе для их устойчивого развития.

Необходимо отметить, что несмотря на широкий охват хозяйств анкетированием, высокая степень соответствия принципам наилучших практик аквакультуры относится к их ограниченному числу, предоставившему ответы на вопросы анкеты. Данное обстоятельство свидетельствует о том, что лишь малая часть хозяйств посчитала для себя возможным предоставить комплекс ответов по запрошенным параметрам. Преимущественное большинство хозяйств в различных аспектах своей работы, вероятно, имеет определённые узкие места, препятствующие эффективной деятельности, устойчивому развитию и открытому участию в исследовании. В этой связи разработка комплекса правил наилучших практик аквакультуры и обеспечение их доступности для ознакомления и широкого использования в повседневной деятельности хозяйств может рассматриваться как один из методических инструментов устойчивого развития аквакультуры Российской Федерации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Принципы наилучших практик аквакультуры, направленные на эффективное функционирование и устойчивое развитие хозяйств, объединяют комплекс правил осуществления различных аспектов деятельности в этой области. В Российской Федерации они не представлены в виде какого-либо общего документа и не имеют фиксированного статуса. В то же время их отдельные составляющие достаточно широко применяются в рамках нормативного регулирования отрасли, используемых инструктивных, методических документов и результатов практической деятельности. Оценка соответствия принципам наилучших практик аквакультуры практической деятельности садковых хозяйств подтвердила высокую степень их использования в текущей деятельности.

Максимальное соответствие наблюдается в части групп показателей ответственности перед законом, обеспечения ветеринарной безопасности объектов выращивания и управления персоналом хозяйств. Соответствие принципам экологической ответственности и взаимодействия с наукой и образованием заметно отстает. Имеющееся отставание может быть сокращено на основе совершенствования регулирования экологического мониторинга деятельности хозяйств и существенного усиления взаимодействия, расширения связей на различных уровнях и площадках между хозяйствами аквакультуры, профессио-

нальными общественными объединениями и научно-исследовательскими институтами и профильными образовательными учреждениями.

Благодарности

Авторы выражают искреннюю благодарность специалистам Управления Науки и аквакультуры Росрыболовства за оказанную помощь в организации и проведении анкетирования рыбоводных хозяйств. Администрации и специалистам рыбоводных хозяйств, ответивших на вопросы анкеты, за живой отклик, уделённое время и участие в исследовании.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО».

ЛИТЕРАТУРА

- Антипова Л.В., Дворянинова О.П., Василенко О.А., Данылиев М.М., Сулейманов С.М., Шабунин С.В. 2011. Рыбоводство. Основы разведения, вылова и переработки рыб в искусственных водоёмах. СПб.: ГИОРД. 472 с.
- Барулин Н.В., Лиман М.С., Новикова Е.Г., Шумский К.Л., Атрощенко Л.О., Rogovцов С.В., Суворец Н.А., Некрылов А.В., Плавский В.Ю. 2016. Рекомендации по выращиванию рыбopосадочного материала радужной форели в рыбоводных промышленных комплексах (с временными нормативами). Горки: БГСХА. 180 с.
- Бедрицкая И.Н., Пятикопова О.В., Сапахова Л.Х., Чебурова А.В. 2025. Методический подход к оценке воздействия рыбоводного хозяйства садкового типа по гидрохимическим параметрам // Рыбное хозяйство. № 5. С. 88-97. DOI: 10.36038/0131-6184-2025-5-88-97
- Бурлаченко И.В., Яхонтова И.В., Баринаова 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
- Головина Н.А., Стрелков Ю.А., Воронин П.П., Головин П.П., Евдокимова Е.Б., Юхименко Л.Н. 2003. Ихтиопатология. / Головина Н.А., Бауер О.Н. ред. М.: Мир. 448 е.
- Жигин А.В. 2011. Замкнутые системы в аквакультуре. М.: Изд-во РГАУ–МСХА им. К.А. Тимирязева. 665 с.
- Мельченков Е.А., Мышкин А.В., Кандиева Т.А., Сафронов А.С., Слепнев В.А., Калмыкова В.В., Демкина Н.В., Здрок А.В., Романова Н.Н. 2019. Методические рекомендации по формированию продукционных маточных стад сибирского осетра на предприятиях промышленного типа. М.: Сельскохозяйственные технологии. 87с.

- Пятикопова О.В., Бедрицкая И.Н., Попов Д.А., Сапахова Л.Х. 2025. Гидрологические параметры среды при организации садковых рыбоводных хозяйств в Астраханской области // Водные биоресурсы и среда обитания. Т. 8, № 2: 83-94. DOI: 10.47921/2619-1024_2025_8_2_83
- Пятикопова О.В., Бедрицкая И.Н., Дьякова С.А., Попов Д.А., Тарасова О.Г., Макарова Е.В., Минакова Е.В., Жаткина О.В., Кашин Р.Д. 2024. Особенности условий садкового рыбоводства Астраханской области на примере р. Хурдун // Известия ТИПРО. Т. 204, вып. 3. С. 670-682. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-670-682.
- Рахконен Р., Веннерстрем П., Ринтамяки П., Каннел Р. 2013. Здоровая рыба. Профилактика, диагностика и лечение болезней. НИИ охотничьего и рыбного хозяйства. Нукураино, Helsinki. 177 С.
- Aquaculture en cage. Études régionales et aperçu mondial.* 2009. / Halwart M., Soto D., Arthur J.R. eds. FAO Document technique sur les pêches. No. 498. Rome, FAO. 259 p.
- Environmental Best Management Practices for Aquaculture.* 2008. / C.S. Tucker, J.A. Hargreaves ed. John Wiley & Sons. Inc. 608 p.
- Mente, E., Pierce, G.J., Santos, M.B., Neofitou, C. 2006. Effect of feed and feeding in culture of salmonids on the marine aquatic environment: a synthesis for European aquaculture // *Aquaculture International*, 14: pp. 499-522;
- Renato A. Quiñones, Marcelo Fuentes, Rodrigo M. Montes, Doris Soto, Jorge León-Muñoz. 2019. Environmental issues in Chilean salmon farming // *Reviews in Aquaculture*. 11. P. 375-402.
- Washington S., Ababouch L. 2011. Private standards and certification in fisheries and aquaculture: current practice and emerging issues. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 553. Rome, FAO. 181p.
- REFERENCES**
- Antipova L.V., Dvoryaninova O.P., Vasilenko O.A., Danyliv M.M., Suleymanov S.M., Shabunin S.V. 2011. Fish Farming. Fundamentals of breeding, fishing, and processing fish in artificial ponds. St. Petersburg: GIRD. 472 p. (In Russ.)
- Barulin N.V., Liman M.S., Novikova E.G., Shumsky K.L., Atroshchenko L.O., Rogovtsov S.V., Surovets N.A., Nekrylov A.V., Plavsky V.Yu. 2016. Recommendations for Growing Rainbow Trout Fish Seedlings in Industrial Fish Farming Complexes (with Temporary Regulations). Gorki: BSSA. 180 p. (In Russ.)
- Bedritskaya I.N., Pyatikorova O.V., Sapkova L.Kh., Cheburova A.V. 2025. Methodological Approach to Assessing the Impact of a Cage-Type Fish Farming Facility on Hydrochemical Parameters // *Fishery*. No. 5. Pp. 88-97. DOI: 10.36038/0131-6184-2025-5-88-97 (In Russ.)
- Burlachenko I.V., Yakhontova I.V., Barinova V.V. 2024. On the Application of Best Practices Principles in Russian Aquaculture // *Trudy VNIRO*. 2024. V. 198. P. 64-74. DOI: 10.36038/2307-3497-2024-198-64-74. (In Russ.)
- Golovina N.A., Strelkov Yu.A., Voronin P.P., Golovin P.P., Evdokimova E.B., Yukhimenko L.N. 2003. *Ichthyopathology*. / Golovina N.A., Bauer O.N. ed. Moscow: Mir. 448 e. (In Russ.)
- Zhigin A.V. 2011. *Closed Systems in Aquaculture*. Moscow: RSAU – K.A. Timiryazev MAA Publishing House. 665 p. (In Russ.)/
- Mel'chenkov E.A., Myshkin A.V., Kanidieva T.A., Safronov A.S., Slepnev V.A., Kalmykova V.V., Demkina N.V., Zdrok A.V., Romanova N.N. 2019. Methodological recommendations for the formation of productive female stocks of siberian sturgeon at industrial-type enterprises. // *Rybnoe*. 87p. ISBN 978-5-6042808-4-3 (In Russ.)
- Pyatikorova O.V., Bedritskaya I.N., Popov D.A., Sapakhova L.Kh. 2025. Hydrological parameters of the environment in the organization of cage fish farms in the Astrakhan region // *Aquatic Bioresources and Habitats*. Vol. 8, No. 2: 83-94. DOI: 10.47921/2619-1024_2025_8_2_83 (In Russ.)
- Pyatikorova O.V., Bedritskaya I.N., Dyakova S.A., Popov D.A., Tarasova O.G., Makarova E.V., Minakova E.V., Zhatkina O.V., Kashin R.D. 2024. Features of the conditions of cage fish farming in the Astrakhan Region on the example of the Khurdun River // *Izvestiya TINRO*. V. 204. No. 3. P. 670-682. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-670-682. (In Russ.)
- Rahkonen R., Wennerström P., Rintamäki P., Kannel R. 2013. *Healthy Fish. Prevention, Diagnosis, and Treatment of Diseases*. Research Institute of Hunting and Fisheries. Nykypaino, Helsinki. 177 p. (In Russ.)
- Aquaculture en cage. Études régionales et aperçu mondial.* 2009. / Halwart M., Soto D., Arthur J.R. eds. FAO Document technique sur les pêches. No. 498. Rome, FAO. 259 p.
- Environmental Best Management Practices for Aquaculture.* 2008. / C.S. Tucker, J.A. Hargreaves ed. John Wiley & Sons. Inc. 608 p.
- Mente, E., Pierce, G.J., Santos, M.B., Neofitou, C. 2006. Effect of feed and feeding in culture of salmonids on the marine aquatic environment: a synthesis for European aquaculture // *Aquaculture International*, 14: pp. 499-522;
- Renato A. Quiñones, Marcelo Fuentes, Rodrigo M. Montes, Doris Soto, Jorge León-Muñoz. 2019. Environmental issues in Chilean salmon farming // *Reviews in Aquaculture*. 11. P. 375-402.
- Washington S., Ababouch L. 2011. Private standards and certification in fisheries and aquaculture: current practice and emerging issues. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 553. Rome, FAO. 181p.

Поступила в редакцию 10.12.2025 г.
Принята после рецензий 24.12.2025 г.



УДК: 597.553.2:597-114.7

Аквакультура

О влиянии обработок 17α -метилтестостероном на характеристики крови, структуру внутренних органов и реверсию пола радужной форели

Н.Ю. Терпугова, И.В. Бурлаченко, О.П. Филиппова, С.Е. Зуевский, В.В. Попов

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»), Окружной проезд, 19, Москва, 105187
E-mail: terpugova@vniro.ru

SPIN-код: Н.Ю. Терпугова – 5485-9250; И.В. Бурлаченко – 7492-7365; О.П. Филиппова – 9906-0202; С.Е. Зуевский – 1544-6014; В.В. Попов – 2270-1638

Цель: оценка влияния обработок 17α -метилтестостероном на рост, морфологические и биохимические показатели крови, состояние внутренних органов и реверсию пола у молоди радужной форели.

Методы: эксперименты выполнены на личинках и молоди форели, получавших 17α -метилтестостерон с кормом в течение 3, 4 и 8 недель после перехода на экзогенное питание. О влиянии препарата судили по гематологическим и биохимическим показателям крови, а также гистологической картине внутренних органов.

Новизна: проведена комплексная оценка последствий гормональной реверсии пола у радужной форели через 15 месяцев после применения 17α -метилтестостерона. Показано влияние продолжительности гормональных обработок на гематологические и биохимические параметры крови, а также отсутствие воздействия препарата на состояние внутренних органов, за исключением воспроизводительной системы.

Результат: установлено, что введение препарата в корм форели в течение 4 недель позволяет получить до 90% самцов. Увеличение срока обработки до 8 недель приводит к формированию до 90% стерильных особей. Последствие применения препарата выразилось в нелинейном незначительном снижении уровня гемоглобина, гематокрита и количества эритроцитов, повышении относительного содержания лейкоцитов и тромбоцитов. Отмечено достоверное снижение содержания альбумина, общего белка и креатинина, незначительное снижение АСТ, уровня азота мочевины и триглицеридов. Однако все изменения находились в диапазоне референсных значений. Гистологическое исследование внутренних органов молоди форели в возрасте 5 и 15 месяцев показало нормальные возрастные изменения без выраженного влияния препарата на структуру печени, кишечника, сердца и селезенки.

Практическая значимость: показано отсутствие негативного воздействия 17α -метилтестостерона, применяемого на ранних стадиях развития радужной форели, на функциональное состояние органов молоди, а также эффективность использования препарата в течение 4 недель, обеспечивающего получение до 90% самцов.

Ключевые слова: радужная форель *Oncorhynchus mykiss*, 17α -метилтестостерон, гематологические показатели, биохимия крови рыб, состояние внутренних органов, реверсия пола.

Effects of 17α -methyltestosterone on blood parameters, visceral morphology, and sex reversal in rainbow trout

Nadezhda Y. Terpugova, Irina V. Burlachenko, Olga P. Filippova, Sergey E. Zuevskiy, Vladislav V. Popov

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

Aim: To evaluate the effects of 17α -methyltestosterone treatments on growth performance, morphological and biochemical blood parameters, condition of internal organs, and sex reversal in juvenile rainbow trout.

Methods: Experiments were conducted on larvae and juveniles that received feed supplemented with 17α -methyltestosterone for 3, 4, and 8 weeks after the onset of exogenous feeding. The influence of the hormone was assessed based on hematological and biochemical blood indicators, as well as histological examinations of internal organs.

Novelty: A comprehensive assessment of the long-term consequences of hormonal sex reversal in rainbow trout was performed 15 months after 17α -methyltestosterone application. The study revealed that treatment duration significantly affected hematological and biochemical blood parameters, while no adverse effect on internal organs was detected, except for the reproductive system.

Results: The inclusion of the hormone in feed for 4 weeks resulted in up to 90% males. Extending the treatment to 8 weeks led to the formation of up to 90% sterile individuals. Long-term effects were manifested as a minor nonlinear decrease in hemoglobin, hematocrit, and erythrocyte counts, accompanied by an increase in leukocyte and platelet proportions. Significant reductions in albumin, total protein, and creatinine concentrations were recorded, along with slight decreases in AST activity, blood urea nitrogen, and triglycerides. However, all variations remained within reference ranges. Histological examination of the liver, intestine, heart, and spleen of trout aged 5 and 15 months demonstrated normal ontogenetic changes without pronounced structural alterations attributable to the treatment.

Practical significance: The study confirmed that early-life administration of 17α -methyltestosterone does not negatively affect the functional state of juvenile organs and is an effective approach for producing up to 90% males when applied for a 4-week feeding period.

Keywords: rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*, 17α -methyltestosterone, hematological parameters, fish blood biochemistry, internal organ morphology, sex reversal.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из современных методов повышения продуктивности в форелеводстве является реверсия пола, направленная на получение однополого женского потомства для производства товарной рыбы и пищевой икры [Hoga et al., 2018]. Реверсия пола осуществляется путём воздействия гормона на самок, которые затем развиваются как фенотипические самцы. В дальнейшем особи используются для скрещивания с нормальными самками, что в итоге приводит к получению однополого женского потомства [Devlin, Nagahama, 2002].

Исследования влияния гормонов на гонады рыб начались в конце 1930-х годов и заложили основу современных методов управления полом [Yamamoto, 1953; Pandian, Sheela, 1995]. Некоторые стероиды, такие как этистерон (ЕТ), 11 β -гидроксиандростендион (HD) и 17 α -метилтестостерон, относятся к числу наиболее широко применяемых в коммерческой аквакультуре для реверсии пола рыб [Kuzminski, Dobosz, 2010]. В исследованиях на радужной форели (*Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792)) показано, что низкие дозы 17 α -метилтестостерона, применяемые в течение 60 дней после начала кормления, обеспечили почти 100%-ное получение самцов, тогда как более высокие дозы, применяемые в течение 120 дней, приводят к значительному увеличению числа стерильных особей [Solar et al., 1984]. При гормональном воздействии некоторые фенотипические самцы имеют гонады необычной округлой формы, без выводных протоков – это генотипические самки, в потомстве которых отсутствуют самцы. Хотя качество спермы у самцов с генотипом XX, как было показано для радужной форели, хуже, чем у самцов с генотипом XY [Geffen, Evans, 2000], их использование в аквакультуре для получения однополого потомства оказалось экономически оправданным.

Гормональная реверсия пола демонстрирует сложность взаимодействий между гормональным вмешательством и физиологическими процессами половой дифференциации. Обработка рыб гидроксиандростендионом и 17 α -метилтестостероном стимулировала развитие гонад и повышение ряда количественных характеристик эритроцитарных и биохимических параметров у самцов реверсантов, что коррелирует с усилением метаболизма при соматическом росте. Показатели крови тесно связаны с уровнем метаболизма, причём в период роста у крупных рыб регистрируются более высокая скорость метаболизма, чем у мелких [Inapan, Asar, 2020].

По экспертным оценкам в современном форелеводстве доля феминизированных особей, полученных

с использованием метода реверсии пола, составляет не менее 80%. Однако исследования воздействия андрогенов на физиолого-биохимические и морфологические характеристики молоди форели остаются ограниченными. В доступных литературных источниках обнаружены лишь сведения о том, что применение 17 α -метилтестостерона в небольших концентрациях в течение 30 дней не оказало негативного влияния на печень и сердце тилапии [Katongo, 2013]. Поскольку сперма самцов реверсантов используется для получения феминизированных самок, что может повлиять на их физиологическую полноценность, представлялось важным выявить и оценить изменения, происходящие в организме молоди форели под воздействием андрогенов или отсроченный эффект подобного воздействия. Кроме того, данные исследования представляли также интерес в аспекте возможного расширения регуляторного поля ветеринарного применения 17 α -метилтестостерона, как препарата, отнесённого к сильнодействующим веществам [Об утверждении..., 2007¹], для получения однополого посадочного материала лососевых рыб. В этой связи цель данного исследования состояла в оценке влияния обработок 17 α -метилтестостероном различной продолжительности на рост, морфологические и биохимические показатели крови, состояние внутренних органов молоди и реверсию пола радужной форели.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для экспериментальных работ использовали личинок, полученных из икры производственной линии феминизированных самок. Особый интерес представляла оценка потенциала использования генетических ресурсов импортных однополых линий в отечественной селекции форели. При проведении опыта личинок после перехода на внешнее питание кормили стартовым кормом с добавлением 17 α -метилтестостерона в концентрации 2 мг/кг корма. Необходимое количество препарата растворяли в 96%-ном этаноле и вносили в корм методом распыления. Использовали стартовый корм для форели рецептуры ФГБНУ «ВНИРО», имевший следующие характеристики питательной ценности – 61% белка, 11% жира, 11% углеводов, энергия – 19,2 МДж/кг. Проводили наблюдения за 4-мя группами личинок и молоди форели. Группы различались по продолжительности применения гормонального препарата – 3, 4 и 8 недель, контрольная группа рыб получала корм без гормональной добавки. Выбор вариантов опыта был основан на данных различных авторов, описавших сходный эффект получения самцов реверсантов при обработке форели от 4-х [Razmi et al., 2011] до 8 недель [Метальникова, 2015].

Исходное количество личинок в каждой группе составляло 500 экз. Полученную молодь выращивали в УЗВ, в круглых бассейнах объёмом – 0,5 м³, с водообменом – 25 л/мин. Освещённость в помещении составляла до 400 люкс. Общая сумма тепла за год выращивания составила 4589 градусо-дней, а в возрасте 15 месяцев – 5369 градусо-дней. Общая продолжительность наблюдений составила 485 суток. В целях создания благоприятных условий для созревания экспериментальных рыб с пятого по восьмой месяц выращивания температура воды в бассейнах была плавно снижена с 15 до 7 °С, с целью создания «искусственной зимовки» в течение 50 суток при 7 °С. Имитация сезонности замедлила рост и развитие воспроизводительной системы форели.

Гидрохимические параметры воды в бассейнах в ходе эксперимента, в основном, соответствовали технологическим нормам [Барулин и др., 2016]. Средняя температура воды в бассейнах составила 13,5 °С (12,6-14,5 °С), концентрация растворенного в воде кислорода 11,09 мг/л (7,8-15,0), рН 7,48 (7,4-7,6). Содержание нитритов 0,08 мг/л (0,03-0,21), аммонийного азота 0,42 мг N/л (0,17-0,54), фосфатов 0,27 мг/л (0,03-0,55).

Оценку особенностей воздействия на рыб продолжительности обработок 17 α -метилтестостероном проводили на основе изучения динамики их роста. Общем влиянии на физиологические процессы судили по результатам анализа крови и её биохимического состава. Для характеристики функциональных изменений, вызываемых воздействием гормональных обработок, использовали анализ состояния внутренних органов, оцениваемого на основе применения гистологических методов. Определение массы рыб проводили каждые 30 суток. Отбор проб для гистологического исследования осуществляли в возрасте 5 и 15 месяцев. Гематологические и биохимические пробы отбирали в возрасте 15 месяцев.

Гематологический анализ проводили в соответствии с Методическими указаниями ... [1999]. Кровь отбирали из хвостовой вены у 10 экз. из каждой группы. Физиологическое состояние радужной форели оценивали по следующим показателям: концентрация гемоглобина – гемиглобинцианидный метод с использованием прибора МиниГЕМ+; гематокрит – центрифугирования крови в микрокапиллярах с последующим измерением соотношения объёма эритроцитов к общему объёму крови; количество эритроцитов – подсчёт в камере Горяева; количество незрелых форм эритроцитов и лейкоцитарная формула – на мазках крови, окрашенных по Паппенгейму (Романовскому – Гимза). При идентификации клеток крови рыб руководствовались

атласами клеток крови рыб [Иванова, 1983]. Лейкоциты и тромбоциты подсчитывали в мазках крови методом относительного подсчёта на 1000 эритроцитов с последующим выражением результатов в процентах.

Микроскопические исследования проводили с использованием микроскопа «Olympus BX45», фотофиксацию осуществляли с помощью цифровой видеокамеры «Olympus DP25» и программы DC Viewer. Морфологические показатели красной крови рассчитывали согласно методу [Кухарева, 2019] – измеряли диаметр большого и малого эритроцита и их ядра по 100 клеток у каждой особи. Затем определяли объём эритроцита и ядра, высоту эритроцита, а также величину ядерно-плазматического отношения.

Для биохимического анализа кровь отбирали в вакуумные пробирки с активатором свёртываемости. Пробу центрифугировали 5 минут при 3000 об./мин., после чего отбирали сыворотку в объёме не менее 1,0 мл от каждой рыбы. Биохимические показатели – общий белок, альбумин, аспартаминотрансфераза (АСТ), креатинин, мочевины, триглицериды и холестерин определяли с использованием биохимического автоматического анализатора BioChem FC-200 (США) и готовых реактивов (наборов) от High Technology, Inc. (США).

При проведении гистологических исследований руководствовались стандартными методиками [Микодина и др., 2009]. При описании препаратов использовали атлас гистологии рыб [Гентен и др., 2016]. Готовые срезы окрашивали квасцовым гематоксилином по Эрлиху с доокраской эозином. Для фотографирования микропрепаратов использовали компьютерную установку с программой DC Viewer и микроскоп Olympus с автоматической видеокамерой Leica DC-100.

Статистическая обработка материала выполнена с использованием MS Excel 2010. Достоверность различий определяли по критерию Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изменения массы рыб из подопытных групп представлены на рис. 1. Отмечено, что средняя масса рыб увеличивалась во всех группах, однако в вариантах опыта были отмечены различия в динамике роста. В группах, получавшей гормон в течение трёх и четырёх недель, средняя масса была ниже по сравнению с контрольной группой и группой восьми недель. Эта тенденция сохранялась на протяжении всего периода наблюдения. Изменение массы форели можно описать уравнением $M_i = a \cdot X^b$ (при достоверности величины аппроксимации $R^2 = 0,91-0,95$), где M_i – средняя масса форели в соответствующей группе в граммах; X – возраст форели в сутках; a – константа; b – показатель степени в соответствующей группе рыб.

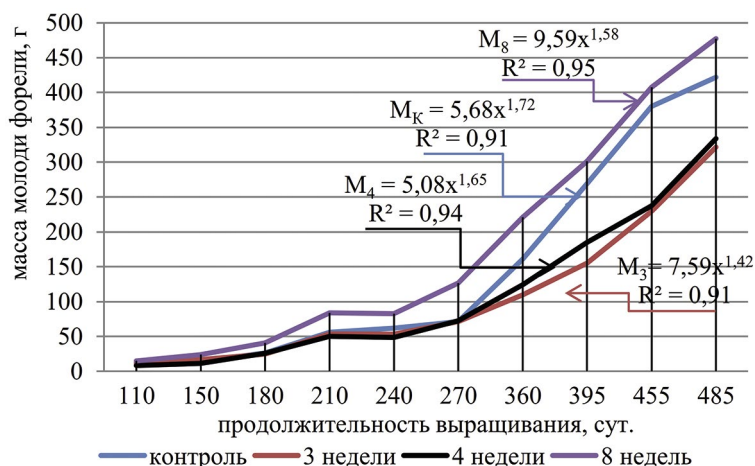


Рис. 1. Изменение массы тела экспериментальных групп форели, с различными сроками применения 17 α -метилтестостероном

Fig. 1. Changes in body weight of experimental trout groups with different periods of 17 α -methyltestosterone feeding

Таким образом, более длительное воздействие 17 α -метилтестостерона (8 недель) способствовало увеличению средней массы рыб по сравнению с трёх- и четырёхнедельной экспозицией гормона. Это указывает на потенциально положительное влияние времени гормонального воздействия на рост радужной форели и что согласуется с литературными данными, где было выдвинуто предположение, что продолжительное применение 17 α -метилтестостерона, добавленного в корм, может ускорять рост [Yamazaki, 1983]. Выживаемость на всех этапах выращивания не отличалась между опытными и контрольной группами и составила 95% в период от 3-х до 8-ми месяцев, что свидетельствует о сохранении стабильного состояния рыб при различных режимах гормонального воздействия.

Результаты гематологических исследований контрольной и экспериментальных групп молоди радужной форели представлены в табл. 1.

В контрольной группе показатели крови соответствовали аналогичным значениям у рыб, получавших корм с 17 α -метилтестостероном в течение 3-х недель. Однако у рыб, получавших гормоны в течение 4 и 8 недель, наблюдали некоторое снижение уровня гемоглобина, гематокрита и количества эритроцитов. Снижение гемоглобина сопровождалось достоверным снижением числа эритроцитов по сравнению с контрольной группой. Количество молодых форм эритроцитов, указывающих на активность эритропоэза, было выше у групп, получавших 17 α -метилтестостерон в течение 8 недель. В лейкоцитарной формуле преоблада-

Таблица 1. Характеристика крови молоди радужной форели в возрасте 15 месяцев в различных вариантах продолжительности применения 17 α -метилтестостерона

Table 1. Blood parameters in 15-month-old juvenile rainbow trout subjected to 17 α -methyltestosterone treatments of varying duration

Показатели	Группа рыб				Референсные значения**
	Контроль	3 недели	4 недели	8 недель	
Гемоглобин, г/л	104,4 \pm 5,1	104,2 \pm 9,6	95,2 \pm 6,1	95,1 \pm 9,7	83-122
Эритроциты, млн/мкл	0,80 \pm 0,03	0,78 \pm 0,04	0,63 \pm 0,04*	0,65 \pm 0,03*	0,87-1,34
Гематокрит, %	47,1 \pm 3,7	42,2 \pm 3,5	40,6 \pm 1,5	40,2 \pm 3,1	36-55,4
Незрелые эритроциты, %	7,7 \pm 0,1	5,9 \pm 0,8	6,9 \pm 0,6	9,2 \pm 0,9	\leq 20,0
Лимфоциты, %	89,4 \pm 1,4	88,4 \pm 2,0	89,5 \pm 1,5	87,4 \pm 2,7	\geq 77,0
Нейтрофилы, %	7,8 \pm 0,6	9,6 \pm 1,5	8,0 \pm 1,4	10,8 \pm 2,2	\leq 14,4
Моноциты, %	3,5 \pm 0,9	2,0 \pm 0,2	2,5 \pm 0,4	1,8 \pm 0,5	\leq 4,9
Кол-во лейкоцитов, %	8,5 \pm 0,9	10,7 \pm 1,4	9,6 \pm 0,9	13,0 \pm 2,2	-
Кол-во тромбоцитов, %	2,6 \pm 0,7	2,9 \pm 0,6	5,1 \pm 1,3	4,3 \pm 1,2	-

Примечание: * – различия с контролем достоверны при $p \leq 0,05$; ** – Серпунин, 2010; Keen et al., 1989; Nabi et al., 2022; Řehulka et al., 2004.

дали лимфоциты, и значения этих показателей были схожи между экспериментальными группами. Тем не менее, у группы, получавшей 17 α -метилтестостерон в течение 8 недель, наблюдалось незначительное снижение доли лимфоцитов и увеличение доли нейтрофилов. Относительное содержание лейкоцитов в крови экспериментальных групп была выше, чем в контрольной группе, при максимуме у рыб, получавших препарат в течение 8 недель. Кроме того, было зафиксировано увеличение содержания тромбоцитов в 1,9 раза у рыб, получавших 17 α -метилтестостерон в течение 4 и 8 недель. Это наблюдение может указывать на активацию тромбоцитарного звена гемостаза в ответ на применение гормонального препарата, однако требует дополнительного изучения для установления механизмов обнаруженных изменений. В то же время, отмеченные различия показателей между вариантами опыта не выходят за пределы референсных значений,

приводимых в различных источниках [Řehulka et al., 2004; Серпунин, 2010; Nabi et al., 2022].

Патологических изменений в составе красных и белых клеток крови не было выявлено ни в одной из групп (рис. 2). Эритроциты имели типичную овальную форму с центрально расположенным ядром, однородные размеры и равномерное окрашивание цитоплазмы. Лейкоциты характеризовались нормальной морфологией и структурной целостностью, признаки дегенеративных изменений отсутствовали.

С целью более детального анализа возможных физиологических изменений у рыб были проведены исследования морфометрических показателей красной крови. Данная характеристика позволяет оценить адаптационные изменения в системе крови, охарактеризовать функциональное состояние эритропоэза и выявить возможные цитоморфологические нару-

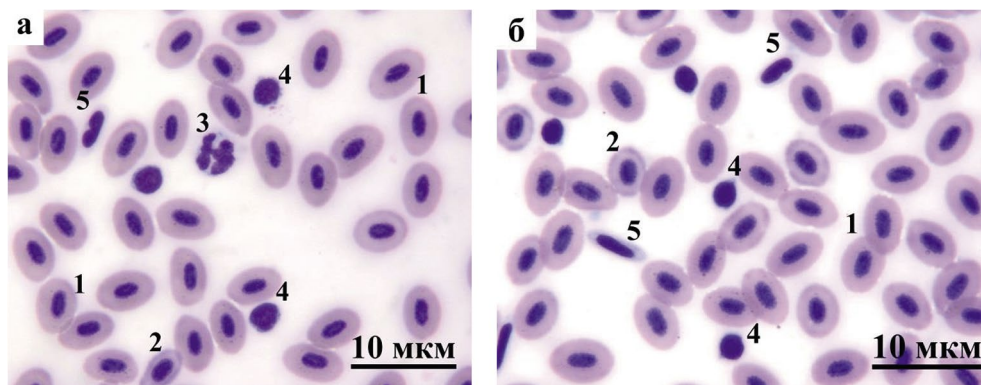


Рис. 2. Картина крови радужной форели, контроль (а) и опытная группа (б): зрелые (1) и молодые (2) эритроциты; нейтрофил (3); лимфоциты (4); тромбоциты (5)

Fig. 2. Blood smear of rainbow trout, control (a) and experimental group (b): mature (1) and immature (2) erythrocytes; neutrophil (3); lymphocytes (4); thrombocytes (5)

Таблица 2. Морфометрические характеристики зрелых эритроцитов радужной форели в возрасте 15 месяцев, в различных вариантах применения 17 α -метилтестостерона, M \pm m

Table 2. Morphometric characteristics of mature erythrocytes in 15-month-old rainbow trout under various 17 α -methyltestosterone treatment regimens, M \pm m

Показатель	Группа рыб			
	Контроль	3 недели	4 недели	8 недель
Диаметр эритроцита, мкм	13,2 \pm 0,06	13,4 \pm 0,07	13,4 \pm 0,06*	13,1 \pm 0,05
	8,81 \pm 0,05	8,72 \pm 0,04	8,94 \pm 0,05*	9,24 \pm 0,04*
Диаметр ядра, мкм	5,92 \pm 0,05	6,18 \pm 0,05*	6,13 \pm 0,04*	5,87 \pm 0,04
	3,05 \pm 0,03	3,03 \pm 0,03	3,02 \pm 0,02	3,04 \pm 0,02
Толщина эритроцита, мкм	2,33 \pm 0,01	2,34 \pm 0,01	2,35 \pm 0,01	2,32 \pm 0,01
Объём эритроцита, мкм ³	230,1 \pm 2,1	233,2 \pm 2,2	237,8 \pm 1,9*	233,8 \pm 1,8
Объём ядра, мкм ³	29,5 \pm 0,6	30,2 \pm 0,5	29,6 \pm 0,4	28,7 \pm 0,4
Ядерно-плазматическое отношение	0,13	0,13	0,13	0,12

Примечание: над чертой – большой диаметр эритроцита/ядра; под чертой – малый диаметр эритроцита/ядра; * – различия с контролем достоверны при $p \leq 0,05$.

шения. Результаты морфологических исследований представлены в табл. 2.

Цитометрические измерения эритроцитов показали, что размеры клеток были схожи у всех групп рыб. Однако достоверные отличия по сравнению с контрольной группой были обнаружены у рыб, получавших 17 α -метилтестостерон в течение 4 недель. Объем эритроцитов в этой группе был выше, что может свидетельствовать об адаптации к гормональному воздействию. Ядерно-плазматическое отношение эритроцитов было на порядок ниже у рыб, получавших гормональный препарат в течение 8 недель, что указывает на созревание клеток и возможное увеличение их функциональной активности.

Таким образом, продолжительное применение 17 α -метилтестостерона вызывает незначительные изменения гематологических показателей и морфологии крови, что может свидетельствовать об адаптационной реакции организма на гормональное воздействие.

Более существенные отличия между контрольным и опытными вариантами отмечены по биохимическим показателям крови рыб (табл. 3).

Анализ биохимических показателей крови выявил наиболее выраженные изменения метаболического статуса у рыб 4-недельной группы. В данной группе отмечено достоверное снижение уровня альбумина на 18,9% ($p < 0,05$) и общего белка на 11,1% ($p < 0,05$) по сравнению с контролем. У опытных групп рыб, получавших 17 α -метилтестостерон в течение 8 недель, содержание альбумина восстанавливалось до контрольных значений, что может свидетельствовать о развитии адаптивных механизмов в ответ на продолжительное гормональное воздействие. Изменения

в показателях азотистого обмена характеризовались тенденцией к снижению содержания азота мочевины во всех экспериментальных группах, хотя различия не достигали статистической значимости. Скорее всего, это может указывать на некоторое снижение интенсивности катаболизма белков или улучшение их утилизации в анаболических процессах под влиянием андрогенного препарата. Достоверное снижение уровня креатинина в группах с 4- и 8-недельной обработкой на 20,2% и 19,8% соответственно ($p < 0,05$) может быть обусловлено влиянием 17 α -метилтестостерона на мышечный метаболизм либо отражать изменения в функциональной активности почек при длительном применении гормона.

Показатели углеводного и липидного обмена демонстрировали относительную стабильность. Однако наблюдалась тенденция к снижению уровня глюкозы во всех экспериментальных группах, различия с контролем не были статистически значимыми. 17 α -метилтестостерон способен влиять на углеводный обмен, изменяя активность ключевых ферментов гликолиза и глюконеогенеза [Ahmed et al., 2020], однако в данном исследовании эти изменения не носили выраженного характера. Содержание триглицеридов также имело тенденцию к снижению, особенно в группе с 4-недельной обработкой, что может свидетельствовать об усилении липидного катаболизма для энергетических обменных процессов организма.

Изменения выявлены в динамике содержания холестерина: в 4-недельной группе отмечена тенденция к его повышению ($6,0 \pm 0,4$ ммоль/л против $5,7 \pm 0,2$ ммоль/л в контроле), хотя различия не достигали статистической значимости. Учитывая одновременное снижение общего белка крови в этой группе,

Таблица 3. Биохимические показатели крови радужной форели в возрасте 15 месяцев в различных вариантах продолжительности применения 17 α -метилтестостерона

Table 3. Blood biochemical parameters in 15-month-old rainbow trout under various 17 α -methyltestosterone treatment durations

Показатель	Ед. измерений	Группа рыб				Референтные значения **
		Контроль	3 недели	4 недели	8 недель	
Альбумин	г/л	14,8 \pm 0,2	13,3 \pm 0,4*	12,0 \pm 0,5*	15,1 \pm 0,3	9,81-21,1
Аспартатамино-трансфераза (АСТ)	ед/л	86,4 \pm 7,2	81,0 \pm 7,0	73,2 \pm 8,5	79,3 \pm 5,1	235-713
Азот мочевины	ммоль/л	5,2 \pm 0,3	4,9 \pm 0,5	4,3 \pm 0,3	5,0 \pm 0,2	-
Глюкоза	ммоль/л	3,9 \pm 0,5	3,0 \pm 0,2	3,2 \pm 0,3	3,2 \pm 0,1	1,6-3,9
Креатинин	ед/л	26,2 \pm 0,8	23,5 \pm 1,1	20,9 \pm 0,2*	21,0 \pm 0,6*	10,6-43,9
Общий белок	г/л	41,4 \pm 0,9	40,3 \pm 1,6	36,8 \pm 1,6*	40,5 \pm 0,7	30-60
Триглицериды	ммоль/л	2,8 \pm 0,5	2,3 \pm 0,1	2,0 \pm 0,2	2,6 \pm 0,1	1,6-12,9
Холестерин	ммоль/л	5,7 \pm 0,2	5,3 \pm 0,1	6,0 \pm 0,4	5,8 \pm 0,1	2,1-12,1

Примечание: * – различия с контролем достоверны при $p \leq 0,05$; ** – Rozas-Serri et al., 2022; Nabi et al., 2022.

можно предположить активацию стероидогенеза, поскольку холестерин является необходимым предшественником для синтеза стероидных гормонов. Согласно литературным данным 17 α -метилтестостерон способен стимулировать эндогенный гормональный синтез [Inapan, Asar, 2020; Fazio et al., 2015], что может объяснять наблюдаемую динамику липидного профиля.

Активность аспартатаминотрансферазы (АСТ) во всех экспериментальных группах имела тенденцию к снижению, наиболее выраженную в 4-недельной группе (73,2 \pm 8,5 ед/л против 86,4 \pm 7,2 ед/л в контроле), однако различия не были статистически достоверными. Снижение активности АСТ может объясняться модулирующим действием андрогенов на активность аминотрансфераз или быть следствием адаптивных изменений в печёночном метаболизме. В то же время отмеченные в вариантах опыта изменения, за исключением показателя АСТ, не выходят за диапазон референсных значений, приведённых для нескольких видов лососевых рыб, включая форель, в обширном исследовании M. Rozas-Serri с соавторами [2022]. Отличия от референсных данных в показателе АСТ могут быть связаны со значительно более высоким уровнем липидов высокоэнергетических комбикормов, используемых в промышленной товарной аквакультуре форели, где их содержание в корме достигает 28-30%.

Таким образом, у радужной форели, получавшей 17 α -метилтестостерон, отмечены изменения гематологических параметров, выразившиеся в снижении уровня гемоглобина, количества эритроцитов, гематокрита, общего числа лейкоцитов и тромбоцитов при одновременном усилении эритропоэза. Во всех экспериментальных группах зафиксировано относительное понижение уровня основных биохимических показателей крови, наиболее выраженное в 4-недельной группе, что может свидетельствовать о перестройке белкового, углеводного и липидного обмена под влиянием гормонального воздействия. При более длительном воздействии значения были ближе к контрольным.

Известно, что гематологические показатели достаточно лабильны и дают относительно кратковременную характеристику состояния организма. Они позволяют выявить острые состояния и функциональные нарушения различных органов. В то же время при длительном наблюдении и оценке пролонгированного эффекта какого-либо воздействия более информативными являются гистологические методы исследований, позволяющие получить более детальную картину возможных изменений и оценить влияние применения препарата.

Гистологические исследования жизненно важных органов, проведённые для экспериментальных рыб в возрасте 5 и 15 месяцев позволили отметить, что по результатам оценки органов, обеспечивающих пищеварительную, выделительную, кроветворную функции, в 3-х опытных и контрольном варианте значительных различий обнаружено не было.

Печень. Влияние продолжительности обработок гормональным препаратом на пищеварительную систему молоди форели оценивали по гистологическим характеристикам состояния печени и ворсинок кишечника. Печень рассматривали как основной орган, обеспечивающий метаболизм белков, липидов, углеводов, витаминов и депонирование гликогена. Гистологический анализ печени показал, что в возрасте 5 месяцев у рыб всех экспериментальных групп в гепатоцитах присутствовали жировые включения в сопоставимых количествах. Структурная организация паренхимы соответствовала норме – имела трубчато-сетчатое строение без долевого деления, с комплексами секреторных трубок и равномерным распределением внутривнутрипечёночных протоков (рис. 3 а, б).

К 15 месяцам у большинства особей отмечалось уменьшение липидных включений и восстановление типичной гистологической структуры печени с многогранными гепатоцитами, имеющими центральные ядра и чётко выраженную цитоплазму, что свидетельствует о функциональной полноценности органа (рис. 3 в). В отдельных случаях, вне зависимости от вариантов опыта, у некоторых особей сохранялись жировые включения в паренхиме печени, характеризующиеся избыточным накоплением липидов в гепатоцитах (рис. 3 г). Вероятнее всего, данные отклонения носят индивидуальный характер и отражают специфическую реакцию отдельных особей форели на условия кормления, не будучи следствием длительности гормональных обработок.

Кишечник. Кишечные ворсинки и бокаловидные клетки кишечника являются функционально активными элементами пищеварительной и защитной систем организма. Они обеспечивают процессы расщепления пищи, всасывания питательных веществ, защиту эпителиального слоя, являясь также субстратом для микрофлоры, а также участвуют в выведении содержимого кишечника. Под воздействием стрессовых факторов может, например, уменьшаться высота кишечных ворсинок и толщина эпителиальных клеток [Голубев, Дубицкая, 2021]. Следствием подобных изменений является снижение функциональной активности кишечника.

На гистологических препаратах кишечника исследованных рыб в возрасте 5 месяцев (рис. 3 д,

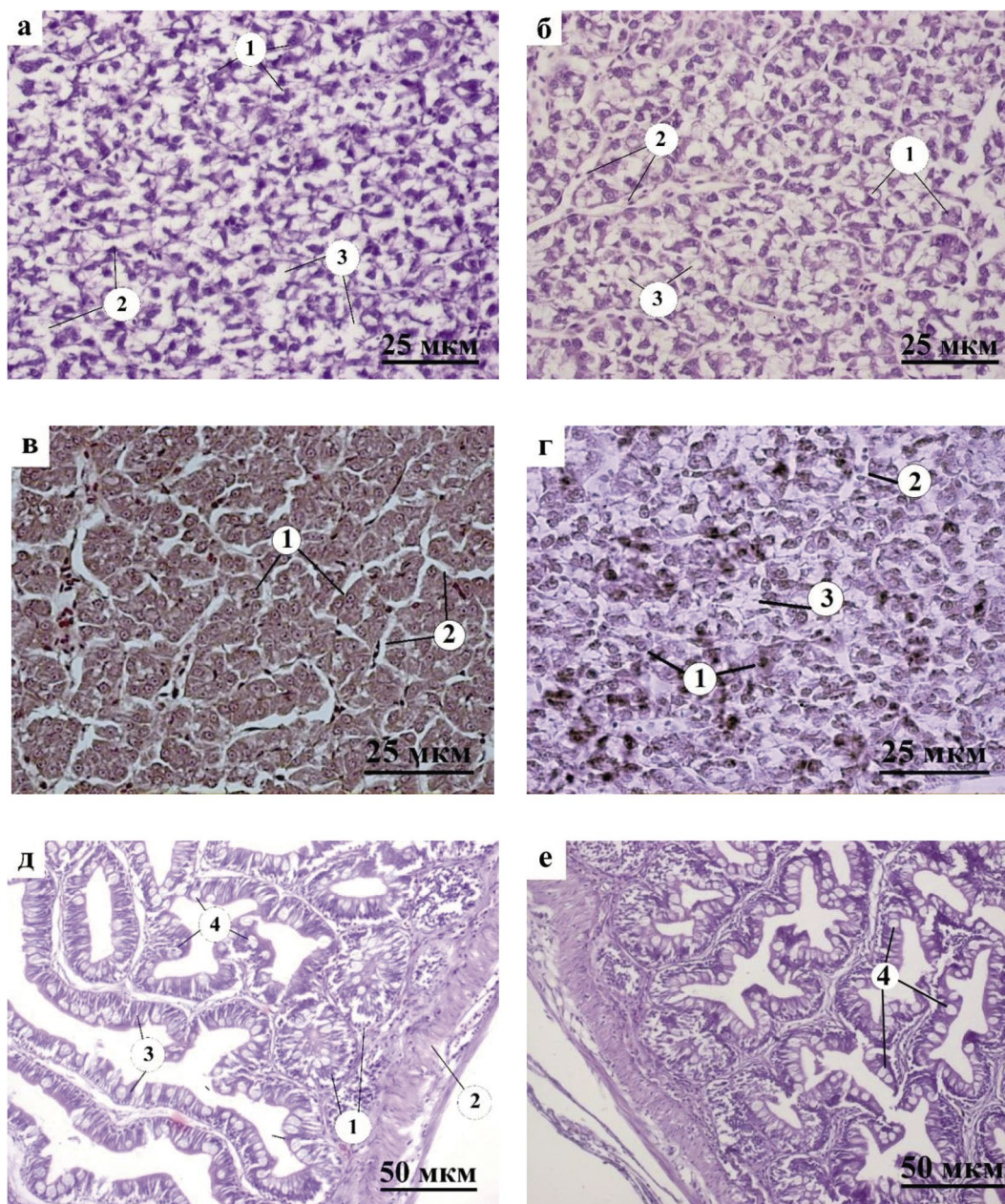


Рис. 3. Гистологические срезы печени и кишечника радужной форели. а-г – печень: а, в – контроль (5 и 15 мес.), б, г – опыт (5 и 15 мес.): 1 – гепатоциты, 2 – синусоидные капилляры, 3 – жировые включения; д, е – кишечник (5 мес.): д – контроль, е – опыт: 1 – крипты слизистой оболочки, 2 – мышечная оболочка, 3 – кишечные ворсинки, 4 – бокаловидные клетки

Fig. 3. Histological sections of the liver and intestine of the rainbow trout. a-d – liver: a, c – control (5 and 15 months), b, d – experimental group (5 and 15 months): 1 – hepatocytes, 2 – sinusoidal capillaries, 3 – lipid inclusions; e, f – intestine (5 months): e – control, f – experimental group: 1 – mucosal crypts, 2 – muscular layer, 3 – intestinal villi, 4 – goblet cells

е) можно видеть три оболочки – серозную, мышечную и слизистую. Кишечный эпителий состоит из клеток, обладающих хорошо заметной исчерченной каёмкой (микроворсинки) и бокаловидных (секретирующих слизь) клеток. Микроворсинки – пальцевидные выросты плазматической мембраны, которые характерны для эпителия тонкого кишечника. В каждой микроворсинке содержатся пучки актиновых и миозиновых

нитей (актин и миозин – белки мышц, участвующие в мышечном сокращении). Ворсинки специализируются на всасывании в тонком кишечнике.

На слизистой оболочке видна щётчатая кайма, образованная микроворсинками. Также видны бокаловидные клетки, продуцирующие слизь и трубчатые углубления эпителия слизистой оболочки кишечника –

крипты (кишечные железы), имеющие форму микроскопических толстостенных трубок (рис. 3 д).

Патологические изменения, такие как некроз эпителиальных клеток ворсинок, отёк слизистой оболочки или отслоение эпителия от базальной мембраны, не выявлены ни в контрольной, ни в опытных группах. Отмечены лишь единичные случаи гипертрофии бокаловидных клеток (рис. 5 е). Гистологические исследования пищеварительной системы подтвердили, что структуры кишечника, обеспечивающие всасывание

питательных веществ из переваренных частиц пищи, во всех вариантах эксперимента находятся в удовлетворительном морфологическом состоянии. Зависимости между продолжительностью гормональных обработок и морфологическим состоянием кишечника рыб разных вариантов опыта не обнаружено.

Селезёнка. У радужной форели как опытных, так и контрольных групп в возрасте 5 месяцев селезёнка имела ярко-бордовый цвет и нормальное строение без существенных морфологических различий между

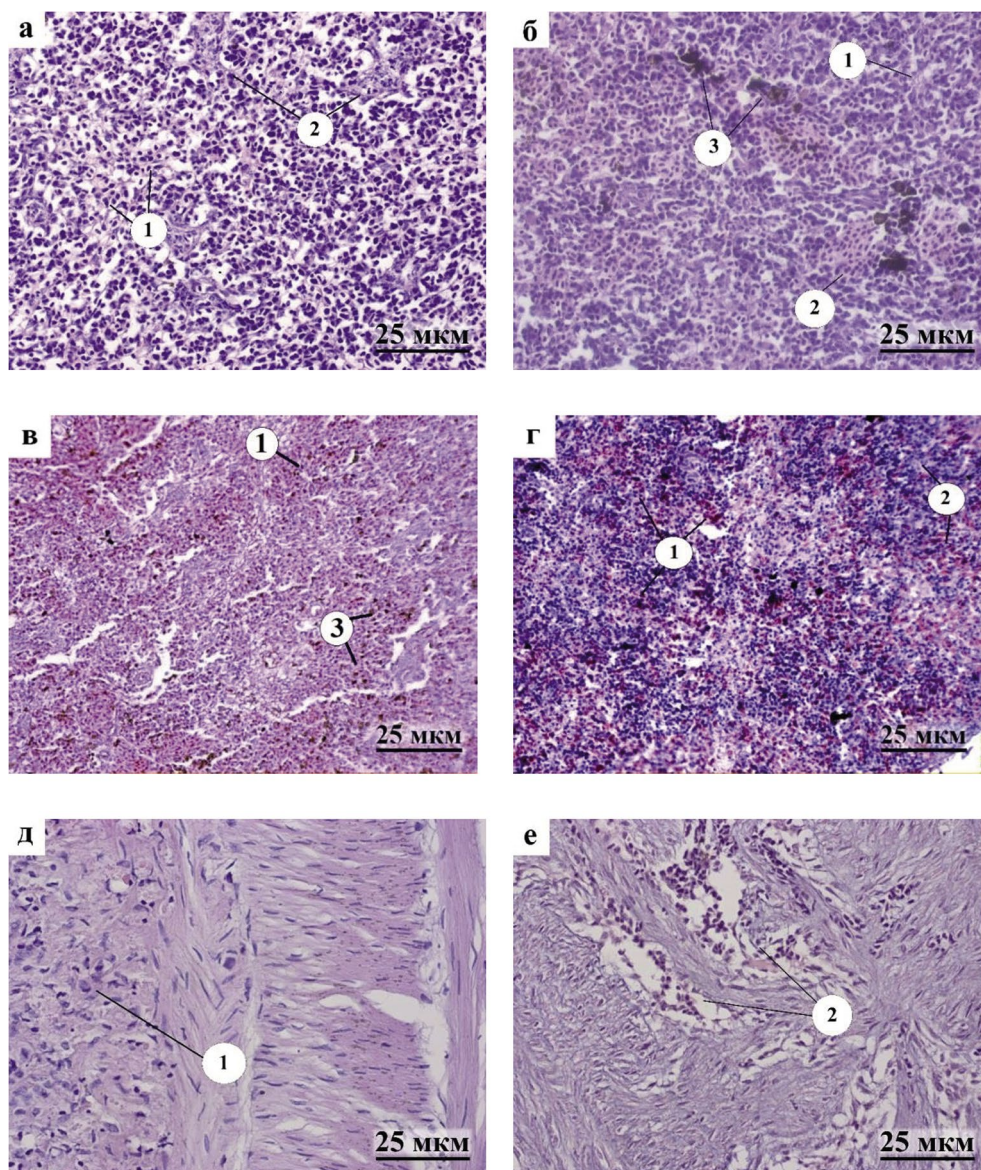


Рис. 4. Гистологические срезы тканей радужной форели: а-г – селезёнка: а, б – 5 мес. (контроль и опыт): 1 – трабекула, 2 – эритроциты и тромбоциты, 3 – меланомакрофаги; в, г – 15 мес. (контроль и опыт): 1 – красная пульпа, 2 – белая пульпа, 3 – скопление эритроцитов; д, е – сердце, 5 мес. (контроль и опыт): 1 – кардиомиоциты, окруженные коллагеновыми волокнами, 2 – группа эритроцитов

Fig. 4. Histological sections of rainbow trout tissues. a-d – spleen: a, b – 5 months (control and experimental group): 1 – trabecula, 2 – erythrocytes and thrombocytes, 3 – melanomacrophages; c, d – 15 months (control and experimental group): 1 – red pulp, 2 – white pulp, 3 – erythrocyte accumulation; e, f – heart, 5 months (control and experimental group): 1 – cardiomyocytes surrounded by collagen fibers, 2 – erythrocyte group

группами. Паренхима органа характеризовалась однородной структурой, без выраженного разделения на белую и красную пульпы. Форменные элементы крови располагались среди многочисленных мелких лимфоцитов (рис. 4 а). Часто встречались центры меланомакрофагов, которые состоят из макрофагов и пигментов (тёмные пятна) и представляют собой характерные элементы иммунной системы костистых рыб (рис. 4 б).

В возрасте 15 месяцев на гистологических срезах селезёнки наблюдалось чёткое морфологическое разделение на красную и белую пульпы (окрашенные в фиолетово-синий цвет) (рис. 4 в, г). При этом красная пульпа преобладала количественно, а лимфоидные зоны белой пульпы были относительно менее развиты.

В целом, в обеих возрастных группах гистологическая картина селезёнки соответствовала норме, что свидетельствовало о стабильности её морфологической организации и сохранении функциональной активности в условиях проведённого эксперимента. Какие-либо значимые отличия между контрольным вариантом и опытными отмечены не были.

Сердце. У молоди в возрасте 5 месяцев в предсердии наблюдали многочисленные пространства, заполненные эритроцитами (рис. 4 е), которые были окружены мышечными тяжами (рис. 4 д). На гистологических срезах сердца коллагеновые волокна желудочка имели нормальное строение, также были чётко видны кардиомиоциты (рис. 4 е). Нарушений в структуре сердечной системы не отмечалось, что свидетельствует о её нормальном функционировании на данном этапе развития.

В возрасте 15 месяцев у обследованных рыб гребневидные мышцы предсердия сохраняли нормальное строение, подтверждая стабильность сердечной структуры (рис. 5 а). В желудочке сердца был выявлен самый толстый слой кардиомиоцитов, что свидетельствует о его способности поддерживать эффективное кровообращение (рис. 5 б). Во всех исследованных вариантах было отмечено умеренное содержание жировой ткани на поверхности сердца, обусловленное возрастными изменениями и адекватной адаптацией к условиям окружающей среды.

Сравнительная оценка гистологических срезов жизненно важных органов экспериментальных групп рыб всех вариантов в возрасте 5 и 15 месяцев позволяет отметить нормальные возрастные изменения в структуре внутренних органов. Однако какое-либо заметное влияние воздействия 17 α -метилтестостерона, использованного на ранних стадиях развития экспериментальных рыб, на структуру внутренних органов выявлено не было.

Гонады. Исследование состояния гонад представляло наибольший интерес, т. к. одной из основных задач выполнявшейся работы было получение инверсии пола с использованием внешнего воздействия гормонами. Как было отмечено ранее, в экспериментах была использована молодь форели, полученная из икры феминизированных самок. В этой связи несомненный интерес представляла возможность самого факта получения самцов. Гистологические исследования гонад рыб из разных вариантов опыта позволили получить следующие результаты.

В контрольной группе в возрасте 15 месяцев, все рыбы развились как самки. Около 30% из них находились на II стадии зрелости с ооцитами цитоплазматического роста (рис. 5 в), а у 70% самок начался переход на III стадию зрелости (рис. 5 г). Ооциты старшей генерации находились в состоянии вителлогенеза, в их цитоплазме были обнаружены многочисленные гранулы желтка и процесс их слияния.

В варианте с 3-мя неделями воздействия 17 α -метилтестостерона оказалось до 50% не переопределённых самок, достигших II стадии зрелости. До 50% рыб имели гонады со сформированными ампулами и сперматогониями в начале II стадии зрелости самцов. Таким образом, доза и продолжительность кормления в этом варианте оказались недостаточными для полноценной инверсии самок в самцов.

В варианте с 8-ю неделями применения 17 α -метилтестостерона получился небольшой процент самок, достигших II стадии зрелости, но с ооцитами, подвергающимися резорбции. Основная масса, до 90% рыб, оказались стерильными и с жировым перерождением гонад. Небольшой процент составили переопределённые самцы в начале II стадии зрелости.

Среди вариантов, где рыбы были подвергнуты гормональной инверсии пола в сторону самцов, наиболее удачным оказался вариант, в котором молодь форели получала 17 α -метилтестостерон в течение 4 недель. В этом варианте основная масса рыб (до 90%) переопределилась в самцов, и большинство из них достигло III стадии зрелости (рис. 5 д). Остался небольшой процент рыб, развивающихся как самки и гермафродиты, которые, вероятно, созреют как самцы (рис. 5 е).

Таким образом, исследования гонад рыб, подвергнутых гормональной обработке, позволили выявить существенное влияние применения 17 α -метилтестостерона на формирование пола и развитие гонад у молоди радужной форели в зависимости от продолжительности использования препарата. Несмотря на то, что опыты проводили на феминизированной икре, удалось добиться реверсии пола. Различная продолжительность обработки 17 α -метилтестостероном позво-

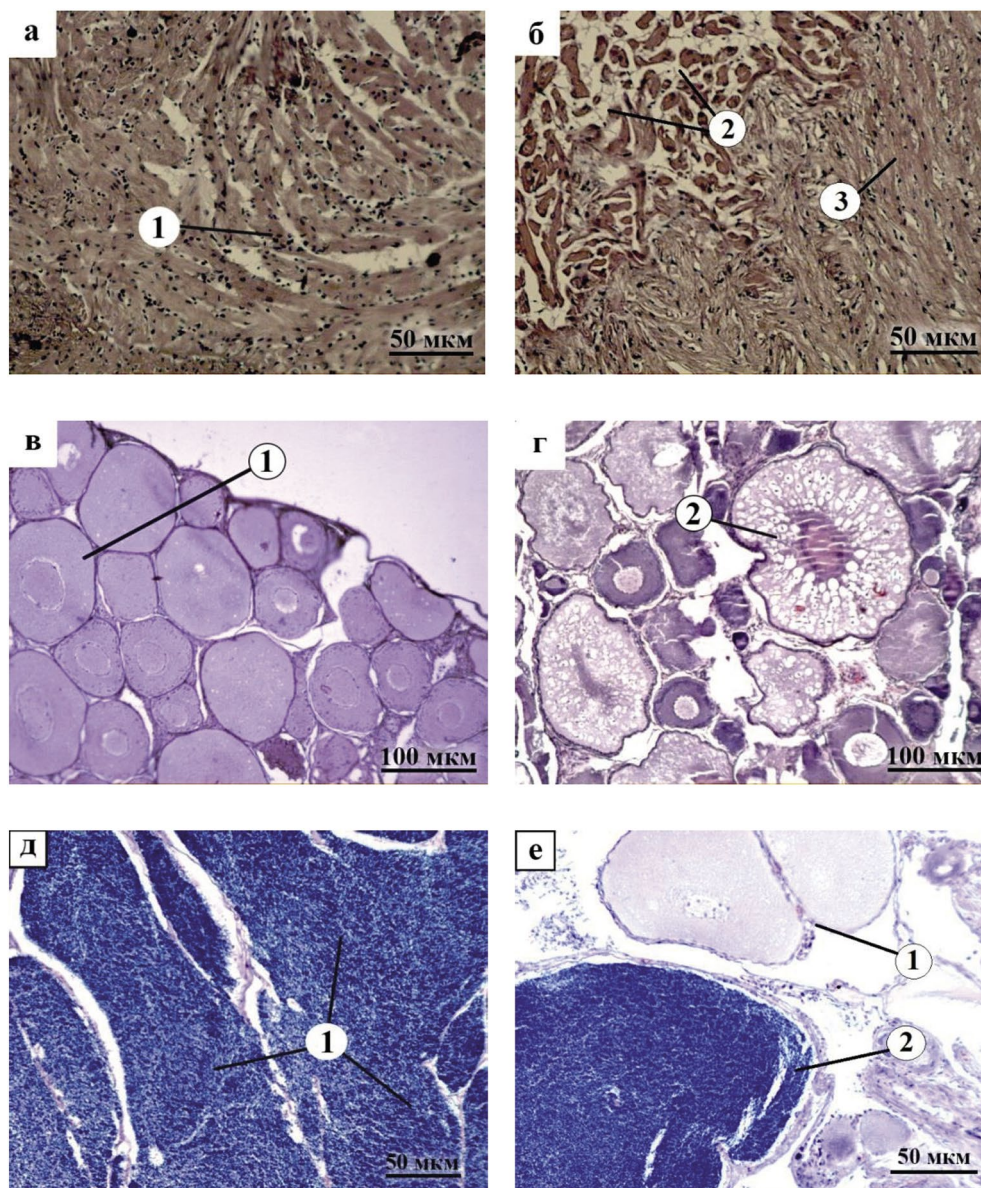


Рис. 5. Гистологические срезы тканей радужной форели (15 мес.). а, б – сердце (контроль и опыт): 1 – кардиомиоциты желудочка сердца, 2 – жировое включение в желудочке, 3 – предсердие с большим количеством кардиомиоцитов; в, г – гонады самки (контроль и опыт): 1 – ооциты цитоплазматического, 2 – ооциты трофоплазматического роста; д – гонады самца (опыт, вариант 4): 1 – сперматоциты 2-го порядка и сперматиды; е – гонады гермафродита (опыт, вариант 4): 1 – ооциты цитоплазматического роста, 2 – сперматиды

Fig. 5. Histological sections of rainbow trout tissues (15 months). а, б – heart (control and experimental group): 1 – ventricular cardiomyocytes, 2 – lipid inclusion in the ventricle, 3 – atrium with a high density of cardiomyocytes; в, г – female gonads (control and experimental group): 1 – oocytes at the cytoplasmic growth stage, 2 – oocytes at the trophoplasmic growth stage; д – male gonads (experimental group, variant 4): 1 – secondary spermatocytes and spermatids; е – hermaphrodite gonads (experimental group, variant 4): 1 – oocytes at the cytoplasmic growth stage, 2 – spermatids

лила получить от 90% самцов (4 недели применения препарата) до 90% стерильных рыб (8 недель применения препарата).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение 17 α -метилтестостерона при его добавлении в корм в концентрации 2 мг/кг личинкам и молоди форели в течение 3, 4 и 8 недель не приве-

ло к различиям в выживаемости. Продолжительность воздействия препарата оказала различное влияние на формирование воспроизводительной системы молоди форели. Все рыбы контрольной группы развились как самки. Трёхнедельное воздействие обеспечило 50% самцов, четырёхнедельное – 90% переопределения в самцов, а восьминедельное привело к 90% стерильности с жировым перерождением гонад.

Анализ гематологических показателей у рыб в возрасте 15 месяцев показал, что применение препарата в течение 4 и 8 недель сопровождалось незначительным снижением уровня гемоглобина, гематокрита и количества эритроцитов, а также увеличением относительного содержания лейкоцитов и тромбоцитов. Кровь рыб, получавших препарат, по содержанию альбумина, общего белка и креатинина были достоверно ниже, по сравнению с рыбами из контрольного варианта. Также, у рыб из опытных групп отмечено некоторое снижение содержания АСТ, азота мочевины, триглицеридов. При этом все различия оставались в пределах референсных значений для форели данной возрастной группы. При гистологическом исследовании печени, кишечника, сердца и селезёнки структурных изменений не выявлено.

Полученные данные свидетельствуют о выраженном влиянии 17 α -метилтестостерона на реверсию пола форели при отсутствии патологических изменений в организме рыб.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

Финансирование

Исследования выполнены в рамках госзадания № 076-00005-25-00 ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО».

ЛИТЕРАТУРА

- Барулин Н.В., Лиман М.С., Новикова Е.Г., Шумский К.Л., Атрощенко Л.О. 2016. Рекомендации по выращиванию рыбобосадочного материала радужной форели в рыбоводных промышленных комплексах (с временными нормативами). Горки: БГСХА. 180 с.
- Гентен Ф., Тервинге Э., Данги А. 2016. Атлас гистологии рыб. СПб.: Проспект Науки. 216 с. (Genten F., Terwinghe E., Danguy A. 2009. Atlas of Fish Histology. Enfield: Science Publishers).
- Голубев Д.С., Дубицкая А.В. 2021. Особенности морфологического строения слизистой оболочки кишечника у среднего и крупного товарного карпа гибридной породы // Ресурсы дичи и рыбы: использование и воспроизводство. Мат. II Всеросс. науч.-практ. конф. Красноярск, 26 ноября 2021 г. С. 72-76.
- Иванова Н.Т. 1983. Атлас клеток крови рыб. М.: Лёгкая и пищевая промышленность. 184 с.
- Кухарева Т.А. 2019. Клеточный состав крови и гемопоэтических органов у некоторых видов донных рыб (Севастопольская бухта, Чёрное море). Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Севастополь: ИнБЮМ. 21 с.
- Метальникова К.В. 2015. Сохранение разнообразия редких видов рыб при использовании аналогов. Саарбрюккен: Изд-во LAP LAMBERT Academic Publishing является торговой маркой Omni Scriptum GmbH&Co/KG. 121 с.
- Методические указания по проведению гематологического обследования рыб. 1999. Сборник инструкций по борьбе с болезнями рыб. Ч. 2. М.: Отдел маркетинга АМБ-агро. 97 с.
- Микодина Е.В., Седова М.А., Чмилевский Д.А. Микулин, А.Е., Пьянова, С.В., Полуэктова, О.Г. 2009. Гистология для ихтиологов: опыт и советы. М.: Изд-во ВНИРО. 112 с.
- Серпунин Г.Г. 2010. Гематологические показатели адаптаций рыб. Калининград: Изд-во КГТУ. 460 с.
- Ahmed I., Reshi Q.M., Fazio F. 2020. The influence of the endogenous and exogenous factors on hematological parameters in different fish species: A review // Aquaculture International. V. 28. P. 869-899. DOI: 10.1007/s10499-019-00501-3.
- Devlin R.H., Nagahama Y. 2002. Sex determination and sex differentiation in fish: an overview of genetic, physiological, and environmental influences // Aquaculture. V. 208. P. 191-364. DOI: 10.1016/S0044-8486(02)00057-1.
- Fazio F., Saoca C., Casella S., Fortino G., Piccione G. 2015. Relationship between blood parameters and biometric indices of *Sparus aurata* and *Dicentrarchus labrax* cultured in onshore tanks // Mar. Freshw. Behav. Phy. V. 48. P. 289-296. DOI: 10.1080/10236244.2015.1041239.
- Geffen A.J., Evans J.P. 2000. Sperm traits and fertilization success of male and sex-reversed female rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // Aquaculture. V. 182. P. 61-72. DOI: 10.1016/S0044-8486(99)00248-3.
- Hoga C.A., Almeida F.L., Reyes F.G.R. 2018. A review on the use of hormones in fish farming: Analytical methods to determine their residues // CyTA – Journal of Food. V. 16. No. 1. P. 679-691. DOI: 10.1080/19476337.2018.1475423.
- Inanan B.E., Acar Ü. 2020. Comparison of milt and blood parameters including testosterone and gonadotropins levels of sex-reversed female rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) by different steroid hormones // Aquaculture Research. V. 51. No. 12. P. 4879-4887. DOI: 10.1111/are.15036.
- Katongo C. 2013. Effect of 17 α -Methyl Testosterone on Haematology and Histology of Liver and Heart of *Oreochromis andersonii* (Castelnau, 1861) // Journal of Marine Science Research & Development. V. 3(3). P. 123-130. DOI: 10.4172/2155-9910.1000130.
- Keen J.E., Steele A.M.C., Houston A.H. 1989. The circulating erythrocytes of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) // Comparative Biochemistry and Physiology. Pt A: Physiology. V. 94. No. 4. P. 699-711. DOI: 10.1016/0300-9629(89)90620-8.
- Kuzminski H., Dobosz S. 2010. Effect of sex reversal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) using 17 α -methyltestosterone and 11 β -hydroxyandrostenedione // Archives of Polish Fisheries. V. 18. No. 1. P. 45-49. DOI: 10.2478/v10086-010-0005-0.
- Nabi N., Ahmad I., Wani G.B., Ahmad S.M., Shafi K.M. et al. 2022. Hematological and serum biochemical reference

- intervals of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* cultured in Himalayan aquaculture: Morphology, morphometrics and quantification of peripheral blood cells // Saudi Journal of Biological Sciences. V. 29. No. 4. P. 2942-2957. DOI: 10.1016/j.sjbs.2022.01.020. DOI: 10.1016/j.sjbs.2022.01.019
- Pandian T.J., Sheela S.G. 1995. Hormonal induction of sex reversal in fish // Aquaculture. V. 138. No. 1-4. P. 1-22. DOI: 10.1016/0044-8486(95)01075-0.
- Razmi K., Naji T., Alizadeh M., Hoseinzadeh Sahafi H. 2011. Hormonal sex reversal of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) by ethynylestradiol-17 α (EE2) // Iranian Journal of Fisheries Sciences. V. 10. No. 2. P. 304-315.
- Řehulka J., Adamec V. 2004. Red Blood Cell Indices for Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Reared in Cage and Raceway Culture // Acta Veterinaria Brno. V. 73. No. 1. P. 105-114. DOI: 10.2754/avb200473010105.
- Rozas-Serri M., Correa R., Walker-Vergara R., Coñuecar D., Barrientos S., Leiva C. et al. 2022. Reference Intervals for Blood Biomarkers in Farmed Atlantic Salmon, Coho Salmon and Rainbow Trout in Chile: Promoting a Preventive Approach in Aquamedicine // Biology. V. 11. No. 7. P. 1065. DOI: 10.3390/biology11071065.
- Solar I.I., Donaldson E.M., Hunter G.A. 1984. Optimization of treatment regimes for controlled sex differentiation and sterilization in rainbow trout by oral administration of 17 α -methyltestosterone // Aquaculture. V. 42. P. 129-139. DOI: 10.1016/0044-8486(84)90360-0.
- Yamamoto T. 1953. Artificially induced sex reversal in genotypic males of the medaka (*Oryzias latipes*) // J. Exp. Zool. V. 123. P. 571-594. DOI: 10.1002/jez.1401230309.
- Yamazaki F. 1983. Sex control and manipulation in fish // Aquaculture. V. 33. P. 329-354. DOI: 10.1016/0044-8486(83)90413-1.
- fish (Sevastopol Bay, Black Sea). PhD Abstr. in biology. Sevastopol: A.O. Kovalevsky IBSS RAS. 21 p. (In Russ.)
- Metalnikova K.V. 2015. Preservation of the diversity of rare fish species using analogs. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing. 121 p. (In Russ.)
- Methodical instructions for hematological examination of fish 1999. Coll. of instructions for the control of fish diseases. Part 2. Moscow: Otdel marketinga AMB-agro. 97 p. (In Russ.)
- Mikodina E.V., Sedova M.A., Chmylevsky D.A., Mikulin A.E., Pyanova S.V., Polyektova O.G. 2009. Histology for ichthyologists: experience and advice. Moscow: VNIRO Publish. 112 p. (In Russ.)
- Serpunin G.G. 2010. Hematological indicators of fish adaptations. Kaliningrad: KSTU. 460 p. (In Russ.)
- Ahmed I., Reshi Q.M., Fazio F. 2020. The influence of the endogenous and exogenous factors on hematological parameters in different fish species: A review // Aquaculture International. V. 28. P. 869-899. DOI: 10.1007/s10499-019-00501-3.
- Devlin R.H., Nagahama Y. 2002. Sex determination and sex differentiation in fish: an overview of genetic, physiological, and environmental influences // Aquaculture. V. 208. P. 191-364. DOI: 10.1016/S0044-8486(02)00057-1.
- Fazio F., Saoca C., Casella S., Fortino G., Piccione G. 2015. Relationship between blood parameters and biometric indices of *Sparus aurata* and *Dicentrarchus labrax* cultured in onshore tanks // Mar. Freshw. Behav. Phy. V. 48. P. 289-296. DOI: 10.1080/10236244.2015.1041239.
- Geffen A.J., Evans J.P. 2000. Sperm traits and fertilization success of male and sex-reversed female rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // Aquaculture. V. 182. P. 61-72. DOI: 10.1016/S0044-8486(99)00248-3.
- Hoga C.A., Almeida F.L., Reyes F.G.R. 2018. A review on the use of hormones in fish farming: Analytical methods to determine their residues // CyTA – Journal of Food. V. 16. No. 1. P. 679-691. DOI: 10.1080/19476337.2018.1475423.
- Inanan B.E., Acar Ü. 2020. Comparison of milt and blood parameters including testosterone and gonadotropins levels of sex-reversed female rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) by different steroid hormones // Aquaculture Research. V. 51. No. 12. P. 4879-4887. DOI: 10.1111/are.15036.
- Katongo C. 2013. Effect of 17 α -Methyl Testosterone on Haematology and Histology of Liver and Heart of *Oreochromis andersonii* (Castelnau, 1861) // Journal of Marine Science Research & Development. V. 3(3). P. 123-130. DOI: 10.4172/2155-9910.1000130.
- Keen J.E., Steele A.M.C., Houston A.H. 1989. The circulating erythrocytes of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) // Comparative Biochemistry and Physiology. Pt A: Physiology. V. 94. No. 4. P. 699-711. DOI: 10.1016/0300-9629(89)90620-8.
- Kuzminski H., Dobosz S. 2010. Effect of sex reversal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) using 17 α -methyltestosterone and 11 β -hydroxyandrostenedione

REFERENCES

- Barulin N.V., Liman M.S., Novikova E.G., Shumskiy K.L., Atroshchenko L.O. 2016. Recommendations on the cultivation of rainbow trout seed material in industrial fish farming complexes (with temporary standards). Gorki: Belarusian State Agricultural Academy. 180 p. (In Russ.)
- Genten F., Terwinghe E., Danguy A. 2016. Atlas of fish histology / V.A. Shutov transl., ed. Saint Petersburg: Prospect Nauki. 216 p. (Genten F., Terwinghe E., Danguy A. 2009. Atlas of Fish Histology. Enfield: Science Publishers. 224 p.). (In Russ.)
- Golubev D.S., Dubitskaya A.V. 2021. Features of the morphological structure of the intestinal mucosa in medium and large marketable hybrid carp // Resources of game and fish: use and reproduction. Proc. II All-Russ. sci-pract. conf. Krasnoyarsk, November 26, 2021. P. 72-76. (In Russ.)
- Ivanova N.T. 1983. Atlas of fish blood cells. Moscow: Legkaya i pishchevaya promyshlennost. 184 p. (In Russ.)
- Kukhareva T.A. 2019. Cellular composition of blood and hematopoietic organs in some species of bottom

- // Archives of Polish Fisheries. V. 18. No. 1. P. 45-49. DOI: 10.2478/v10086-010-0005-0.
- Nabi N., Ahmad I., Wani G.B., Ahmad S.M., Shafi K.M. et al. 2022. Hematological and serum biochemical reference intervals of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* cultured in Himalayan aquaculture: Morphology, morphometrics and quantification of peripheral blood cells // Saudi Journal of Biological Sciences. V. 29. No. 4. P. 2942-2957. DOI: 10.1016/j.sjbs.2022.01.020. DOI: 10.1016/j.sjbs.2022.01.019
- Pandian T.J., Sheela S.G. 1995. Hormonal induction of sex reversal in fish // Aquaculture. V. 138. No. 1-4. P. 1-22. DOI : 10.1016/0044-8486(95)01075-0.
- Razmi K., Naji T., Alizadeh M., Hoseinzadeh Sahafi H. 2011. Hormonal sex reversal of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) by ethynylestradiol-17 α (EE2) // Iranian Journal of Fisheries Sciences. V. 10. No. 2. P. 304-315.
- Řehulka J., Adamec V. 2004. Red Blood Cell Indices for Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Reared in Cage and Raceway Culture // Acta Veterinaria Brno. V. 73. No. 1. P. 105-114. DOI: 10.2754/avb200473010105.
- Rozas-Serri M., Correa R., Walker-Vergara R., Coñuecar D., Barrientos S., Leiva C. et al. 2022. Reference Intervals for Blood Biomarkers in Farmed Atlantic Salmon, Coho Salmon and Rainbow Trout in Chile: Promoting a Preventive Approach in Aquamedicine // Biology. V. 11. No. 7. P. 1065. DOI: 10.3390/biology11071065.
- Solar I.I., Donaldson E.M., Hunter G.A. 1984. Optimization of treatment regimes for controlled sex differentiation and sterilization in rainbow trout by oral administration of 17 α -methyltestosterone // Aquaculture. V. 42. P. 129-139. DOI: 10.1016/0044-8486(84)90360-0.
- Yamamoto T. 1953. Artificially induced sex reversal in genotypic males of the medaka (*Oryzias latipes*) // J. Exp. Zool. V. 123. P. 571-594. DOI: 10.1002/jez.1401230309.
- Yamazaki F. 1983. Sex control and manipulation in fish // Aquaculture. V. 33. P. 329-354. DOI: 10.1016/0044-8486(83)90413-1.

Поступила в редакцию 10.11.2025 г.
Принята после рецензий 14.12.2025 г.



УДК 577.21/639.371.5

Аквакультура

Генотипирование радужной форели методом полногеномного секвенирования с низким покрытием (low-pass секвенирование, lpWGS) для целей геномной селекции

Н.С. Мюге^{1,2}, Ф.С. Шарко^{1,3}

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

² Институт биологии развития им. Н.К. Кольцова РАН (ФГБНУ «ИБР РАН»), ул. Вавилова, д. 26, Москва, 119334

³ Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (ФГБУ НИЦ «Курчатовский институт»), площадь Академика Курчатова, д. 1, Москва, 123182

E-mail: muge@mail.ru

SPIN-код: Н.С. Мюге – 1916-2289; Ф.С. Шарко – 5357-6805

Цель работы: апробация метода секвенирования с особо низким покрытием (low-pass секвенирование) с дальнейшей импутацией генотипов на радужной форели.

Материалы и методы: выделение ДНК проводили в пласечном формате (4 × 96 образцов), для пробоподготовки и секвенирования использовали набор MGI AgriHigh Low-pass WGS Package, создание референсной базы и импутация выполнены на базе вычислительного кластера Группы Биоинформатики ВНИРО.

Новизна: впервые в России проведено low-pass секвенирование на радужной форели для целей геномной селекции.

Результат: анализ 260 особей радужной форели показал высокую достоверность генотипирования данным методом, в среднем для каждой рыбы достоверно определены около 90% из 12 млн локусов панели геномных маркеров. Показана высокая генетическая дифференциация четырёх изученных селекционных линий радужной форели.

Практическая значимость: апробированный метод low-pass секвенирования может использоваться как более экономичная и значительно более информативная альтернатива традиционным ДНК-микрочипам для генетического анализа. Метод применим как для полногеномного ассоциативного анализа (GWAS), так и для расчёта селекционной ценности при формировании селекционного ядра форели в центре геномной селекции.

Ключевые слова: радужная форель *Oncorhynchus mykiss*, метод секвенирования с низким покрытием, импутация, геномная селекция.

Genotyping of rainbow trout using low-pass whole-genome sequencing for genomic selection

Nikolai S. Muge^{1,2}, Fedor S. Sharko^{1,3}

¹ Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), 19, Okrzhnoy proezd, Moscow, 105187, Russia

² N.K. Koltzov Institute of Developmental Biology RAS («IDB RAS»), 26, Vavilov Str., Moscow, 119334, Russia

³ National Research Center I.V. Kurchatov Institute (NRC «Kurchatov Institute»), 1, Akademik Kurchatov Square, Moscow, 123182, Russia

Goal: To verify a low-pass sequencing method (lpWGS) with subsequent genotype imputation in rainbow trout.

Materials and Methods: DNA extraction was performed by a customized protocol in plate format (4 × 96 samples), sample preparation and sequencing were performed using the MGI AgriHigh Low-pass WGS Package, reference database creation, and imputation were performed using the VNIRO Bioinformatics Group computing cluster.

Novelty: low-pass sequencing was conducted on rainbow trout for genomic selection purposes for the first time in Russia.

Result: Analysis of 260 rainbow trout individuals using this method demonstrated high genotyping reliability; on average, approximately 90% of the 12 million loci in the genomic marker panel were reliably identified for each fish. High genetic differentiation was demonstrated among the four studied rainbow trout breeding lines.

Practical significance: The verified low-pass sequencing genotyping method can be used as a cheaper and more informative alternative to traditional DNA microarrays. This method enables both GWAS analysis and breeding value estimation for forming a trout breeding nucleus at the genomic selection Center.

Keywords: rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*, low-pass sequencing, imputation, genomic selection.

ВВЕДЕНИЕ

Недорогие методы полногеномного генотипирования необходимы для реализации точной геномной селекции в растениях и животных. В мировой селекционной практике до недавнего времени широко использовались ДНК-микрочипы для генотипирования однонуклеотидных полиморфизмов (SNP) при работе с большими выборками в рамках полногеномных ассоциативных исследований (GWAS), геномной селекции (GS) и популяционно-генетических исследований. Для радужной форели *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) разработан и успешно применяется ДНК-чип Axiom 57K, содержащий 57 тысяч SNP-зондов [Palti et al., 2015]. Данный ДНК-чип используется как для проведения GWAS, так и для рутинного генотипирования рыб из племенного ядра с целью расчёта племенной ценности (breeding value) и проведения геномной селекции. После удаления SNP с низким качеством сигнала и низкой частотой минорного аллеля (minor allele frequency – MAF) для каждой выборки остаются полезными только около 30-35 тыс. SNP из 57 тыс. [Vallejo et al., 2017; Frasin et al., 2020]. Учитывая, что производители ДНК-чипов прекратили поставки высокотехнологичной продукции в Россию, проведение генотипирования сельскохозяйственных животных, включая аквакультурные виды рыб, на ДНК-чипах становится логистически трудновыполнимой задачей.

Полногеномное секвенирование нового поколения (NGS) прочно вошло в практику геномных исследований, обеспечивая возможность расшифровки генетического кода организмов. В отличие от классического подхода, требующего глубокого покрытия (30-50×) для многократного прочтения каждого нуклеотида, в последние годы активно развивается метод полногеномного секвенирования с низким покрытием (low-pass whole genome sequencing, lpWGS или low-coverage WGS, lcWGS). Его суть заключается в существенном снижении средней глубины секвенирования – обычно до 0,1-5× [Lou et al., 2021]. Технически процесс секвенирования включает фрагментацию геномной ДНК на короткие сегменты (200-500 п. н.), лигирование платформенно-специфических адаптеров и параллельное массовое прочтение миллионов таких фрагментов (ридов). Покрытием в данном контексте называют количество ридов, приходящихся на конкретную позицию генома, а среднее покрытие отражает усреднённую глубину прочтения по всем позициям. Снижение этого показателя при lpWGS приводит к значительному удешевлению анализа, сохраняя при этом возможность получения масштабной геномной информации. Однако существует и обратная

сторона данного метода. При секвенировании с высоким покрытием анализ генома достаточно прост и надёжен – все полученные прочтения от данной особи картируются на референсный геном, и каждый нуклеотид особи определяется консенсусом всех прочтений, картированных на участок генома с данным нуклеотидом. В случае с низким покрытием, применяемым при lpWGS, большая доля генома оказывается не покрыта ни одним прочтением, что делает прямой анализ методом консенсуса невозможным. В этом случае генотипирование проводится методом импутации: на основании большого числа (несколько сотен или тысяч) генотипов, полученных путём глубокого секвенирования, создаётся база фазированных гаплотипов – вариантов, переданных от одного из родителей. Таким образом появляется возможность восстановить непокрытые при low-pass полиморфизмы за счёт идентификации гаплотипа по тем полиморфизмам, которые оказались покрыты прочтениями (ридами), и в результате импутации с высокой достоверностью восстанавливаются все полиморфизмы генома. Важным ограничением импутации является её неспособность выявлять *de novo* мутации, отсутствующие в референсной панели. Кроме того, для обеспечения высокой точности восстановления, как правило, учитываются лишь относительно частые варианты с частотой минорного аллеля (MAF) в пределах 1-5%, которые хорошо представлены в референсной выборке [Lou et al., 2021].

В настоящей работе нами проведён эксперимент по генотипированию радужной форели методом low-pass секвенирования с целью верификации достоверности генотипирования и включения этого протокола в программу геномной селекции радужной форели на базе Центра геномной селекции «ВНИРО» (ЦГС ВНИРО).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материал для проведения генотипирования

Материалом для секвенирования послужили 4 выборки молоди рыб из одного их аквакультурных хозяйств Северной Осетии, 2 выборки молоди разного возраста, выращенной из икры, завезённой из Испании, и 2 выборки молоди, выращенной из икры, привезённой в разное время из Франции. Данные выборки были отобраны 30 июля 2025 года в рамках проекта по изучению генетических маркеров устойчивости к вирусу инфекционного гемопозитического некроза (IHNV) лососевых. Также в исследование включены генетические образцы от 66 особей форели, содержащихся в Центре геномной селекции ВНИРО и ото-

Таблица 1. Образцы радужной форели, включённые в секвенирование методом lpWGS**Table 1.** Rainbow trout samples included in lpWGS sequencing

Выборка	Дата отбора проб	Происхождение	Кол-во	Идентификатор
SP-S	30.07.2025	Испания, 05.04.2025	47	CO25-1-CO25-47
SP-R	30.07.2025	Испания, 18.01.2025	48	CO25-51-CO25-98
FR_R	30.07.2025	Франция 24.01.2025	46	CO25-101-CO25-139, CO25-141-CO25-147
FR-S	30.07.2025	Франция 01.03.2025	48	CO25-151-CO25-198
VNIRO20	04.08.2025	ЦГС ВНИРО, янв. 2024	22	ONC469-ONC490 ONC511-ONC538
VNIRO8	04.08.2025	ЦГС ВНИРО, янв. 2025	21	ONC491-ONC510, ONC539
ВСЕГО			260	

бренных в ходе проведения бонитировки и чипирования (индивидуального мечения RFID метками) рыб. Общий объём выборок, для которых было проведено полногеномное секвенирование методом low-pass, составил 384 образца, из которых 260 принадлежали радужной форели, а оставшиеся 124 – атлантическому лососю (96 образцов) и другим видам рыб (25 образцов). В данной работе обсуждается генетический анализ только образцов радужной форели (табл. 1).

Выделение ДНК и подготовка библиотек для секвенирования

Производитель набора для Low-Pas секвенирования AgriHigh предлагает два варианта – поставка набора для секвенирования с модулем для выделения ДНК на магнитных частицах MGIEasy Genomic DNA Extraction Prepacked Kit (MGISP-NE384) (384 RXN) и требующего использования автоматизированной системы MGISP-NE384RS или без данного модуля. В набор MGISP-NE384 входят магнитные частицы, расходные материалы и реагенты – лизирующий раствор LS, Протеиназа К, промывочные растворы WB1, WB2 и элюирующий буфер EB.

В связи с отсутствием в лаборатории MGISP-NE384RS, а также с целью отработки более экономичного протокола для дальнейшего массового генотипирования было принято решение провести выделение методом, рутинно применяющимся в Отделе молекулярной генетики ВНИРО для массового выделения ДНК в плашечном формате. Выделение ДНК проводили по стандартной методике с использованием адсорбционных колонок PALL и с использованием лизирующего и промывочных растворов, приготовленных из общелабораторных реагентов (модифицированная методика из Ivanova et al., 2006). Выбор данного метода обусловлен его высокопроизводительностью и дешевизной, не требующей дополнительных дорогостоящих реагентов.

Контроль качества выделенной ДНК проводился путём электрофореза в 1,2% агарозном геле; во всех образцах ДНК присутствовала высокомолекулярная фракция. Выборочное измерение образцов на флуориметре (QUBIT 3) показало, что присутствовавшего в образцах количества ДНК достаточно для приготовления библиотек. Четыре планшета с выделенной ДНК (384 образца) были переданы в Биотек Кампус (Москва) для последующего секвенирования.

Дальнейшие процедуры пробоподготовки – нормализация образцов, подготовка PCR-FREE библиотек, циркуляризация в ДНК-микрошарики (DNA nanoballs – DNB) и загрузка библиотеки в ячейку MGIDL-T7RS проводились с использованием наборов Prep Set for Low-pass WGS (384RXN) и MGIEasy Large-scale PCR-Free FS Library на автоматизированной линии Биотек Кампуса в соответствии с инструкцией к набору AgriHigh Low-pass WGS Package 1536RXN специалистами Биотек Кампуса под контролем команды технического сопровождения российского представительства BGI в рамках первого в России тестового запуска набора AgriHigh Low-pass WGS Package. Секвенирование проводилось на приборе MGI T7. После завершения секвенирования и демультиплексации результаты секвенирования в формате fastq поступили в группу Биоинформатики ФГБНУ «ВНИРО». Работы по выделению ДНК и биоинформационной обработке данных проводились на базе ЦКП «Рыбохозяйственная геномика». Генетические образцы форели депонированы в Биоресурсной коллекции ВБР ВНИРО.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Оценка качества секвенирования и картирования

Для 260 образцов радужной форели (*O. mykiss*) был проведён анализ качества данных low-pass

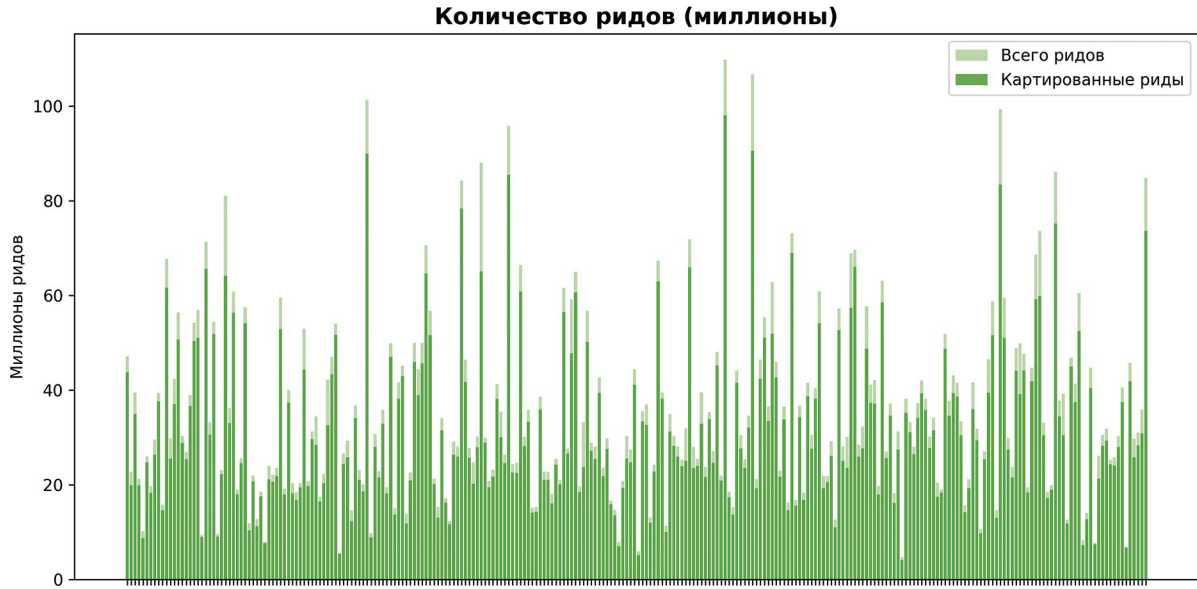


Рис. 1. Распределение картированных/некартированных прочтений по всем образцам

Fig. 1. Distribution of mapped/unmapped reads across all samples

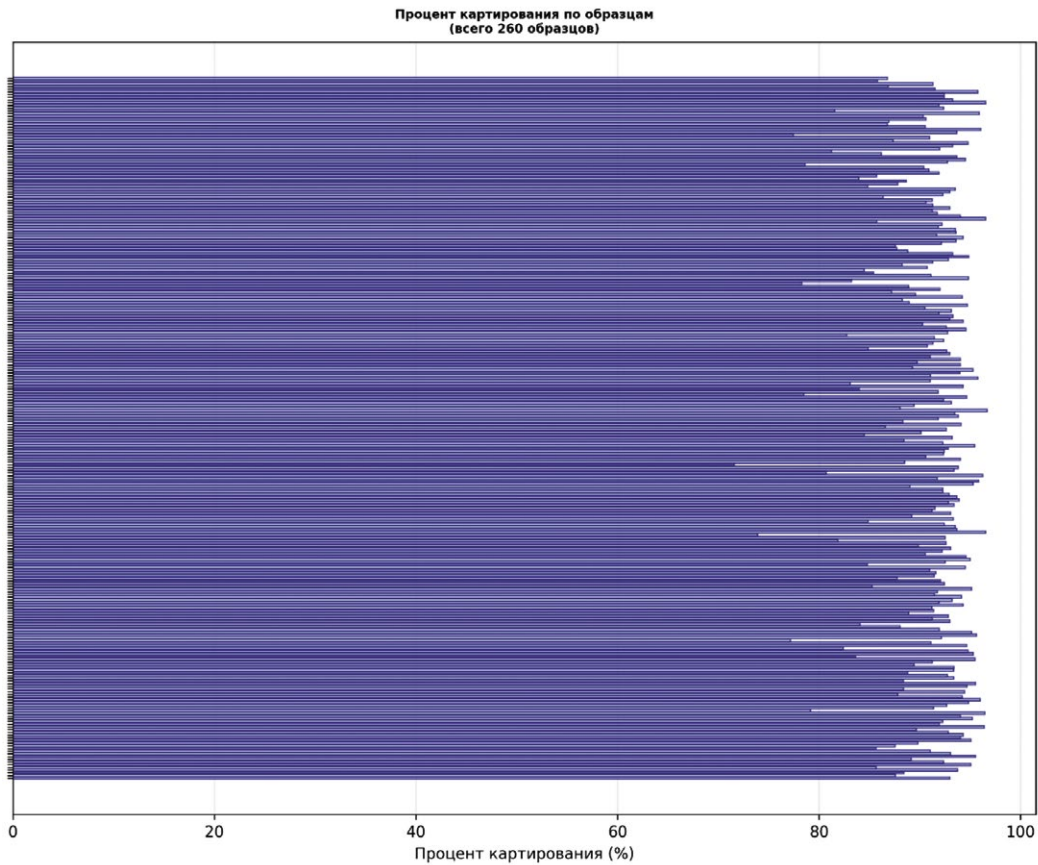


Рис. 2. Распределение процента картирования прочтений (mapped_percent) по всем образцам

Fig. 2. Distribution of the percentage of mapped reads (mapped_percent) across all samples

секвенирования. На образец приходилось в среднем 39 098 611 прочтений, из которых 35 276 784 (90,91%) были успешно картированы на референсный геном

USDA_Омыка_1.1 (рис. 1). Средний процент правильно спаренных прочтений составил 81,24%. Дубликаты секвенирования в образцах обнаружены не были. По-

лученные метрики свидетельствуют о высоком общем качестве данных.

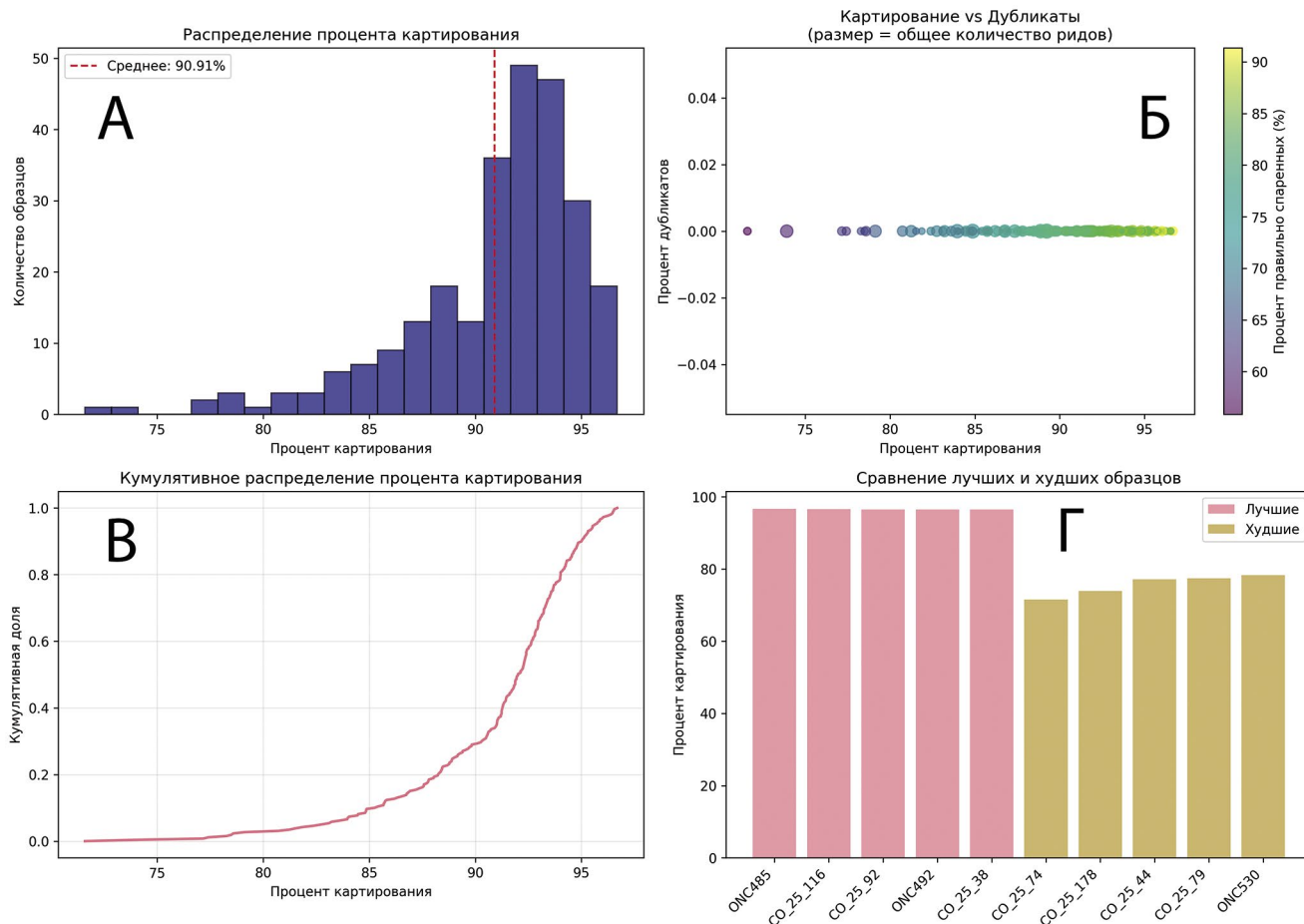
Значение процента картирования (mapped_percent) варьировалось от 71,59% (образец CO_25_74) до 96,69% (образец ONC485) при медиане 92,38% (рис. 2). Более 80% образцов показали уровень картирования выше 90%, что подтверждает высокое качество эксперимента и последующей обработки данных. Основные характеристики картирования представлены на рис. 3.

Показатель правильно спаренных прочтений (properly_paired_percent) варьировался в широких пределах – от 55,85% (CO_25_74) до 91,35% (ONC492), при среднем значении 81,24%. Большинство образцов продемонстрировали уровень парного картирования выше 80%, что приемлемо для дальнейшего анализа. Однако была выявлена группа образцов с аномально низкими показателями, включающая CO_25_74 (mapped_percent=71,59%, properly_paired_percent=55,85%), CO_25_178 (73,91%; 59,34%), CO_25_43 (79,13%; 66,24%) и ONC528 (78,58%; 63,33%). Для этих образ-

цов может потребоваться повторная обработка, дополнительная проверка качества библиотек или специальное исследование причин низкого качества данных.

Процент покрытия генома (coverage %) варьировался от 19,55% (ONC513) до 94,42% (CO_25_57), составляя в среднем 72,65% при медиане 73,46%. Покрытие выше 70%, приемлемое для большинства видов анализа, было отмечено у ~65% образцов. Глубина покрытия (meandepth) колебалась от 0,27× (ONC513) до 6,28× (CO_25_57) со средним значением 2,29× и медианой 1,82×. Большинство образцов (~70%) показали глубину в диапазоне 1,0-3,0×, что соответствует стандартным параметрам low-pass секвенирования.

Среднее качество оснований ДНК (meanbaseq) было стабильно высоким во всех образцах, варьируясь от 35,4 (CO_25_38, CO_25_116) до 36,9 (CO_25_74, CO_25_88) при среднем значении 36,3. Качество картирования (meanmapq) имело больший разброс – от 26,1 (CO_25_74) до 31,4 (CO_25_76, CO_25_92, CO_25_184), со средним 29,9 и медианой 30,1. Около 75% образцов продемонстрировали качество карти-



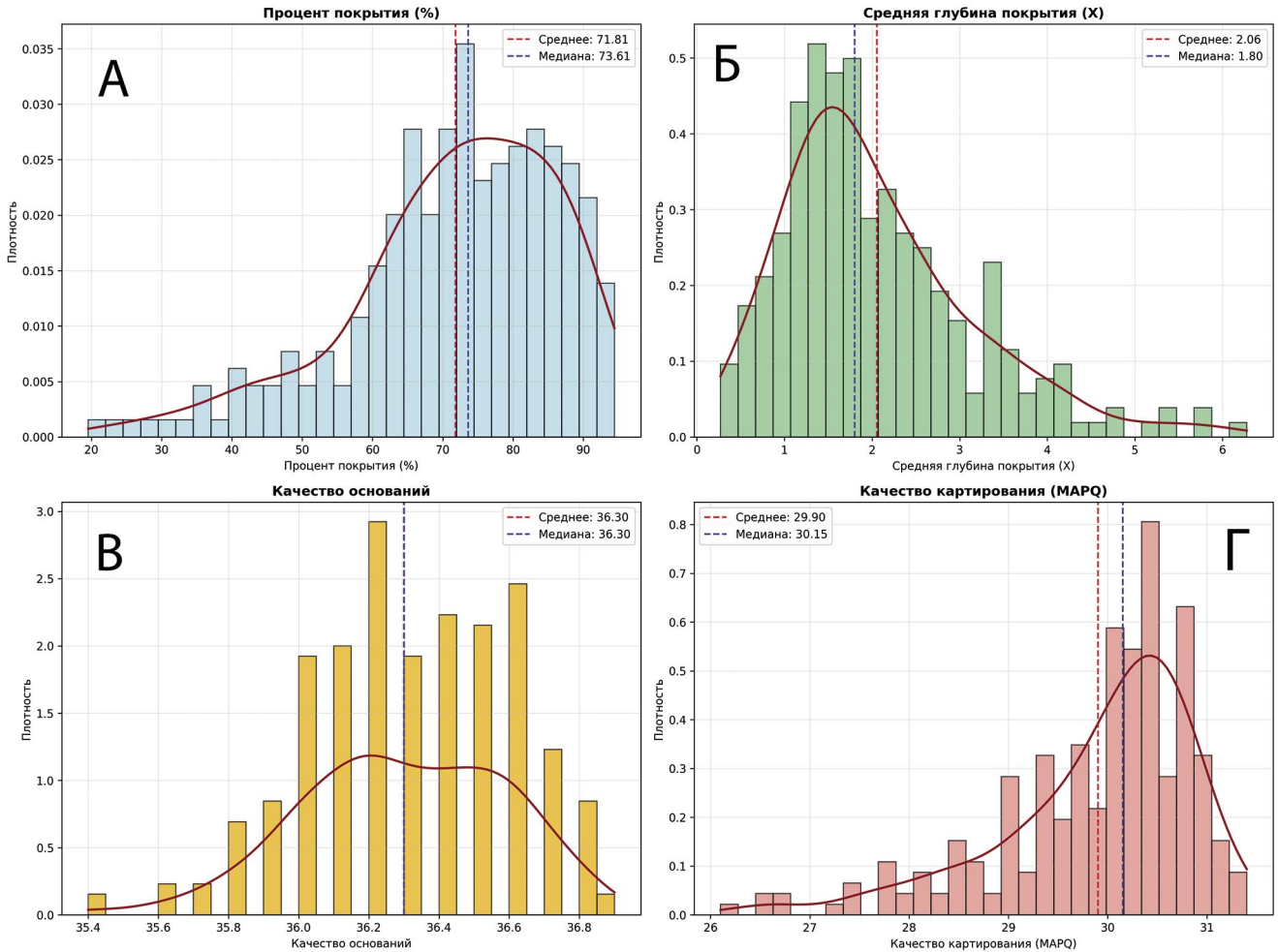


Рис. 4. Распределение образцов по основным метрикам покрытия

Fig. 4. Distribution of samples by main coverage metrics

рования выше 29,0, что считается хорошим показателем. В ходе анализа была выделена группа образцов с экстремально низкими показателями покрытия и глубины:

- ONC513 (coverage 19,55%, depth 0,27×)
- ONC535 (coverage 23,18%, depth 0,34×)
- ONC486 (coverage 26,95%, depth 0,35×)
- ONC493 (coverage 29,17%, depth 0,43×)
- ONC510 (coverage 30,68%, depth 0,46×)

Эти образцы демонстрируют недостаточное для надёжного анализа покрытие и могут требовать повторного секвенирования. Распределение образцов по основным метрикам покрытия представлены на рис. 4.

Создание референсной панели радужной форели для импутации геномов с низким покрытием

Для создания референсной панели было отобрано 108 особей форели, которые ранее были прогеноти-

пированы нами со средним покрытием всего генома 20×. Также были использованы данные из открытых источников: 117 геномов особей дикой американской радужной форели¹ и 410 образцов аквакультурной радужной форели из двух крупнейших племенных центров: Troutlodge Inc. (TLU) и USDA-ARS National Center for Cool and Cold Water Aquaculture (NCCCWA) (табл. 2).

Необработанные данные секвенирования всех 635 особей радужной форели были отфильтрованы по качеству. Для выравнивания прочтений на референсный геном *O. mykiss* (USDA_Омука_1.1) использовалось программное обеспечение Bowtie2 v.2.3.5.1 [Langmead and Salzberg, 2012] с настройками по умолчанию. Затем, для обнаружения полиморфизмов и поиска переменных локусов использовалась программа *bcftools* [Danecsek et al., 2021]. Фильтрация полученного vcf файла с полиморфизмами была выполнена с помощью утилиты *bcftools view*. Итого для 635

¹ <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/bioproject/402066>

Таблица 2. Список образцов форели, данные для которых получены из открытых источников
Table 2. List of trout samples for which data were obtained from open sources

Популяция	Месяц нереста	Количество особей
NCCCWA чётная	Февраль	84
NCCCWA нечётная	Февраль	84
TLUM	Май	76
TLUA	Август	19
TLUN	Ноябрь	147
WILD		117

образцов радужной форели в референсную базу для импутации вошло 17037 139 SNP.

Фазирование полученной референсной базы радужной форели было выполнено с помощью программы shareit5 [Hofmeister et al., 2023]. При использовании данных WGS на выборке большого размера была выполнена процедура SHAPEIT5_phase_common в различных крупных регионах хромосом, разделённых на участки по 20 cM. Далее мы выполняли фазирование в фрагментах с перекрывающимися регионами, которые достаточно велики, чтобы иметь достаточное количество гетерозиготных сайтов для этапа лигирования (т. е. сборки всех фрагментов вместе). Фазирование подразумевает разделение унаследованных по материнской и отцовской линии копий каждой хромосомы на гаплотипы для получения полной картины генетической изменчивости.

Для валидации процедуры импутации два образца – MAD51 (Adler) и ONC155 (Norway-IA) – были исключены из референсной базы, после чего их покрытие было искусственно понижено до уровней 0,1x, 0,3x, 0,5x, 0,7x и 0,9x. Полученные наборы данных с пониженным покрытием затем были импутированы и фазированы с использованием программного пакета GLIMPSE2 [Rubinacci et al., 2021]. Процесс включал четыре основных этапа: 1) сегментацию хромосом на регионы для импутации с помощью GLIMPSE2_chunk; 2) подготовку референсной панели, где GLIMPSE2_split_reference разделял её на фрагменты, соответствующие окнам импутации с буферными зонами и данными генетической карты; 3) непосредственное выполнение импутации и фазирования через GLIMPSE2_phase с использованием бинарной референсной панели и списка BAM-файлов с низким

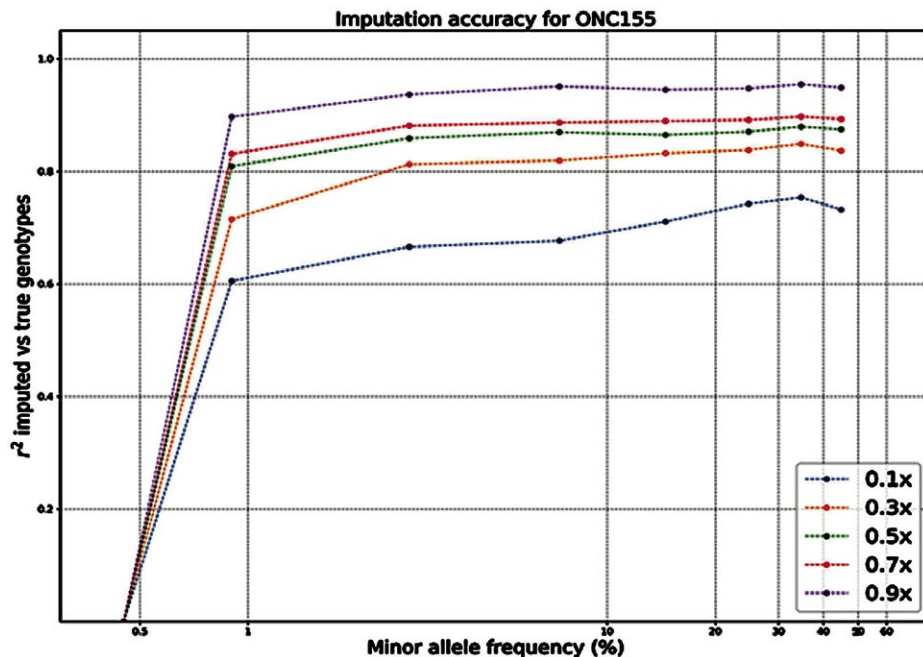


Рис. 5. Соответствие восстановленных и исходных данных для образца ONC155 с понижением покрытия до 0,1x, 0,3x, 0,5x, 0,7x и 0,9x. Чем ближе r^2 к 1, тем точнее импутация

Fig. 5. The measure of agreement between the reconstructed and original data for the ONC155 sample with coverage decreasing to 0.1x, 0.3x, 0.5x, 0.7x, and 0.9x. The closer r^2 is to 1, the more accurate the imputation is

покрытием; 4) лигирование импутированных фрагментов в цельные хромосомные файлы с помощью утилиты GLIMPSE2_ligate.

Для проверки точности импутации, по сравнению с исходным набором данных, мы использовали инструмент GLIMPSE2_concordance, который вычисляет корреляции r^2 между импутированными данными и высоконадёжными генотипами из набора данных с высоким покрытием. Для тестируемых образцов MAD51 и ONC155 с пониженным покрытием была вычислена корреляция r^2 , которая показала, что мера согласованности (concordance) варьирует в зависимости от принадлежности к определённой популяции тестового образца и составляет от 93 до 95% при покрытии генома 0,9× (рис. 4).

Для оценки качества импутации геномных данных форели, полученных методом low-pass секвенирования, был проведён анализ качества статистической импутации генотипов для выборки, состоящей из 260 особей форели. Основной метрикой, используемой для оценки точности этого процесса, является показатель INFO_SCORE (R^2) – представленный в виде вероятности квадрат корреляции между истинным (неизвестным) и импутированным генотипами. Данный показатель также известен как коэффициент детерминации или Imputation Quality Score. В исследованной выборке данный показатель имел следующие значения: минимум – 0,997, среднее – 0,9993, максимум – 1. Данные результаты анализа свидетельствуют о высоком качестве проведённой импутации. Все генетические варианты могут быть использованы для последующих этапов исследования, включая ассоциационные анализы, с высокой степенью достоверности, образцы с недопустимо низким ($\text{INFO_SCORE} < 0,3$) коэффициентом детерминации в анализе отсутствовали.

Проведение кластеризации изученных выборок методом анализа главных компонент

Для проведения сравнительного анализа генетической кластеризации изученных рыб по всему геному для 260 особей были объединены похромосомные VCF-файлы в единый набор данных. В результате импутации было выявлено 12 177 807 полиморфных сайтов. Общее количество неопределённых (N/A) генотипов составило 1 375 937, или 11,3% на образец. Таким образом, для каждой особи в среднем были восстановлены генотипы 88,7% локусов из ~12 млн SNP, представленных в панели фазированных гаплотипов.

Проведение анализа главных компонент выявил наличие четырёх чётких генетических кластеров форели. Выборки форели из одного селекционного центра, хотя и поставленные в разное время, обра-

зуют единые кластеры для форели как французской, так и испанской селекции (рис. 6). Следует отметить включение выборки, маркированной FR-R (6 особей), в кластер испанской форели, что свидетельствует о попадании испанского малька в бассейны с мальком из Франции (бассейны находятся рядом, и такая «контаминация» рыбой из соседних бассейнов – частое явление на рыбозаводных фермах). Выборки форели из Центра Геномной селекции ВНИРО представлены двумя кластерами – один состоит из особей, полученных из икры датского происхождения (выборка VNIRO20), и данный кластер ближе к кластерам французской и испанской форели. Второй кластер представлен полученным в ЦГС ВНИРО вторым поколением форели, имеющим происхождение из селекционного центра Aquagen (Норвегия) и предназначенной для выращивания в условиях морских садковых хозяйств (выборка VNIRO8). Как было ранее нами отмечено по результатам полногеномного секвенирования с высоким (20×) покрытием, форель морской селекции значительно отличается от всех линий форели, предназначенной для выращивания в пресной воде.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В ходе исследования проведена апробация метода low-pass секвенирования для полногеномного генотипирования радужной форели. Полученные данные свидетельствуют о высоком качестве данных, полученных в ходе импутации генотипов по созданной нами референсной базе фазированных гаплотипов, восстановлено более 87% локусов для каждой особи. Немногочисленные генетические образцы, для которых было получено наименьшее покрытие (0,27× – 0,47×), и которые были в ходе предварительного анализа признаны неудовлетворительными, также подверглись импутации, и полученной генетической информации оказалось достаточно чтобы они уверенно кластеризовались со своей популяционной группой.

Технология low-pass секвенирования позиционируется на сегодняшний день как бюджетная и более эффективная замена генотипированию на ДНК-чипах и активно внедряется как рутинная процедура генотипирования в селекции крупного рогатого скота, в свиноводстве и птицеводстве, а также в селекции рыб [Liu et al., 2024]. В нашей работе показана высокая эффективность применения данного вида генетического анализа в геномной селекции радужной форели. Учитывая, что в ценах 2025 года стоимость набора AgriHigh Low-pass WGS Package 384RXN составляет около 800 тыс. рублей (2083 руб. на образец), а также отсутствие на российском рынке ДНК-чипов Axion



Рис. 6. Кластеризация изученных выборок форели в пространстве первой и второй главных компонент
Fig. 6. Clustering of the studied trout samples in the space of the first and second principal components

57K для форели (стоимость на европейском рынке – около 50 евро за образец), следует признать технологию low-pass секвенирования эффективной заменой генотипированию на ДНК-чипах для целей генотипирования рыб, проведения GWAS анализа и оценки селекционной ценности производителей при формировании селекционного ядра в Центре геномной селекции ФГБНУ «ВНИРО».

Благодарности

Авторы выражают искреннюю благодарность за содействие в проделанной работе коллективу Биотехнологического кампуса за проведение секвенирования, а также компании Хеликон и Московскому представительству компании BGI за предоставление демонстрационного набора Agrihigh.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

Финансирование

Работа выполнена при поддержке гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации «Геномная селекция как инструмент интенсификации создания новых отечественных пород и линий лососевых рыб для товарной аквакультуры», соглашение № 075-15-2025-479 от 30 мая 2025 г.

ЛИТЕРАТУРА/ REFERENCES

- Danecek P., Bonfield J.K., Liddle J., Marshall J., Ohan V., Pollard M.O. et al. 2021. Twelve years of SAMtools and BCFtools // GigaScience. 10 (2). giab008. DOI: 10.1093/gigascience/giab008.
- Fraslin C., Phocas F., Bestin A., Charles M., Bernard M., Krieg F. et al. 2020. Genetic determinism of spontaneous masculinisation in XX female rainbow trout: new insights using medium throughput genotyping and whole-genome sequencing // Sci Rep. 10(1): 17693. DOI: 10.1038/s41598-020-74757-8.

- Hofmeister R.J., Ribeiro D.M., Rubinacci S., Delaneau O.* 2023. Accurate rare variant phasing of whole-genome and whole-exome sequencing data in the UK Biobank // *Nature Genetics*. 55(7). DOI: 10.1038/s41588-023-01415-w
- Ivanova N.V., Dewaard J.R., Hebert P.D.N.* 2006. An inexpensive, automation-friendly protocol for recovering high-quality DNA // *Molecular Ecology Notes* 6(4): 998-1002. DOI: 10.1111/j.1471-8286.2006.01428.x
- Langmead B., Salzberg S.* 2012. Fast gapped-read alignment with Bowtie 2 // *Nature Methods*. 9(4): 357-359. DOI: 10.1038/nmeth.1923
- Liu S., Martin K.E., Snelling W.M., Long R., Leeds T.D., Vallejo R.L., Wiens G.D., Palti Y.* 2024. Accurate genotype imputation from low-coverage whole-genome sequencing data of rainbow trout // *G3 Genes|Genomes|Genetics* 14(9).
- Lou R.N., Jacobs A., Wilder A.P., Therkildsen N.O.* 2021. A beginner's guide to low-coverage whole genome sequencing for population genomics // *Molecular Ecology*. 30(23): 5966-5993. DOI: 10.1111/mec.16077.
- Palti Y., Gao G., Liu S., Kent M.P., Lien S., Miller M.R., Rexroad C.E., Moen T.* 2015. The development and characterization of a 57k single nucleotide polymorphism array for rainbow trout // *Mol Ecol Resour*. 15(3):662-672. DOI: 10.1111/1755-0998.12337.
- Rubinacci S., Ribeiro D.M., Hofmeister R.J., Delaneau O.* 2021. Efficient phasing and imputation of low-coverage sequencing data using large reference panels // *Nature Genetics*. 53(1):120-126. DOI: 10.1038/s41588-020-00756-0.
- Vallejo R.L., Leeds T.D., Gao G., Parsons J.E., Martin K.E., Evenhuis J.P., Fragomeni B.O., Wiens G.D., Palti Y.* 2017. Genomic selection models double the accuracy of predicted breeding values for bacterial cold water disease resistance compared to a traditional pedigree-based model in rainbow trout aquaculture // *Genet. Sel. Evol.* 49(1):17. DOI: 10.1186/s12711-017-0293-6.

Поступила в редакцию 07.12.2025 г.
Принята после рецензий 26.12.2025 г.



УДК: 577.21/639.371.5

Аквакультура

Нокаут гена миостатина у карпа обыкновенного с помощью системы CRISPR/Cas9

М.Н. Рузина^{1,2}, О.Р. Емельянова^{1,2}, С.Ю. Савельева^{1,2}, С.А. Брускин^{2,1}, Н.С. Мюге^{1,3}

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

² Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН (ФГБУН «ИОГен РАН»), ГСП-1, ул. Губкина, д.3, Москва, 119991

³ Институт биологии развития им. Н.К. Кольцова РАН (ФГБУН «ИБР РАН»), ул. Вавилова, д.26, Москва, 119334

E-mail: mnruzina@gmail.com

SPIN-код: М.Н. Рузина – 7695-4484; О.Р. Емельянова – 6811-3886; С.Ю. Савельева – 8079-5431; С.А. Брускин – 6752-9049; Н.С. Мюге – 1916-2289

Цель работы: разработка метода нокаута двух паралогичных копий гена миостатина с помощью CRISPR/Cas9-системы с доставкой редактирующего комплекса в зиготу карпа обыкновенного методом микроинъекций.

Материалы и методы: оплодотворение икры карпа обыкновенного проводили *in vitro*, sgRNA синтезировали методом ПЦР с перекрывающимися олигонуклеотидами и последующей транскрипцией, редактирующий комплекс, состоящий из sgRNA и эндонуклеазы Cas9, доставляли в зиготу карпа до первого дробления методом микроинъекций, область, включающую сайт редактирования, амплифицировали методом гнездовой ПЦР, события редактирования детектировали методами секвенирования по Сэнгеру и NGS-секвенирования.

Новизна: впервые в России разработана система нокаута гена миостатина карпа обыкновенного, позволяющая одновременно изменять обе паралогичные копии гена.

Результат: получено 12 особей F0 карпа обыкновенного с нокаутом гена миостатина. **Практическая значимость:** опробован методологический подход, позволяющий достаточно быстро и контролируемо получать особей карпа обыкновенного с запрограммированными мутациями. Криспанты по гену миостатина отличаются повышенной скоростью роста мышечной массы за счёт гипертрофии и гиперплазии мышечных волокон, что приводит к повышению качества филе рыбы. Популяции быстро растущих рыб более удобны для выращивания в условиях аквакультуры, чем популяции со стандартной скоростью роста.

Ключевые слова: карп обыкновенный *Cyprinus carpio*, CRISPR/Cas9, миостатин, нокаут гена, геномное редактирование.

CRISPR/Cas9-knockout of the myostatin gene in common carp

Maria N. Ruzina^{1,2}, Olga R. Emelianova^{1,2}, Svetlana Yu. Saveleva^{1,2}, Sergey A. Bruskin^{1,2}, Nikolai S. Muge^{1,3}

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

² N.I. Vavilov Institute of General Genetics RAS («IGG RAS»), 3, Gubkina str., Moscow, 119333, Russia

³ N.K. Koltzov Institute of Developmental Biology RAS («IDB RAS»), 26, Vavilov Str., Moscow, 119334, Russia

The goal of the study is to develop a method for knocking out the common carp two paralogous copies of the myostatin gene using the CRISPR/Cas9 system with delivery of the editing complex into zygote by microinjection.

Materials and Methods: fertilization of common carp eggs was carried out *in vitro*, sgRNA was synthesized by PCR with overlapping oligonucleotides and subsequent transcription, the editing complex consisting of sgRNA and the Cas9 endonuclease was delivered to the carp zygote by microinjection before the first cleavage. The region contained the editing site was amplified by nested PCR, editing events were detected by Sanger sequencing and confirmed by NGS.

Novelty: For the first time in Russia, a knockout system for the common carp myostatin gene has been developed, allowing both paralogous copies of the gene to be modified simultaneously.

Result: 12 F0 common carp individuals with knockout of the myostatin gene were obtained.

Practical significance: A methodological approach has been tested that allows for the rapid and controlled production of common carp with programmed mutations. Myostatin gene-deficient fish exhibit increased muscle growth due to hypertrophy and hyperplasia of muscle fibers, resulting in improved fish fillet quality. Fast-growing fish populations are more suitable for aquaculture than populations with standard growth rates.

Keywords: common carp *Cyprinus carpio*, CRISPR/Cas9, myostatin, gene knockout, genome editing.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы для создания новых линий организмов были разработаны и стали активно применяться методы геномного редактирования с помощью системы CRISPR/Cas [Doudna, Charpentier, 2014]. Данный подход позволяет контролируемо и направлено получить мутации, приводящие к получению желаемых признаков организмов уже в первом поколении после проведения редактирования. Карп обыкновенный (*Cyprinus carpio* L., 1758) – традиционный объект аквакультуры в тёплых регионах и регионах средней полосы России. Этот вид устойчив к условиям содержания в прудовых хозяйствах, неприхотлив к условиям выращивания, нетребователен к кормам, обладает высокими вкусовыми качествами, хотя и содержит большое количество межмышечных костей. Это аллотетраплоидный вид, последний акт полиплоидизации у него произошёл около 8,2 млн лет назад [Xu et al., 2014]. В геноме карпа содержатся два субгенома, А и В, по 25 хромосом в каждом, $2n=100$ [Chen et al., 2024]. Методами классической селекции в мире, в том числе в Советском союзе и в России, были получены породы с различными рыбоводными и товарными характеристиками и устойчивостью к некоторым заболеваниям. Метод геномного редактирования может быть успешно использован для создания новых пород карпа путём внесения направленных изменений в геном и получения рыб с запланированным фенотипом.

Для генетического редактирования сегодня наиболее широко используется фермент эндонуклеаза Cas9 в комплексе с гидовой РНК (гРНК), которая отвечает за точное нацеливание комплекса на желаемый локус. Эндонуклеаза производит двуцепочечный разрез ДНК в этой области. Координатой, определяющей положение разреза, является фрагмент PAM (Protospacer Adjacent Motif), специфичный для каждой Cas-эндонуклеазы короткий фрагмент ДНК, выше которого осуществляется разрез. Для Cas9 это фрагмент NGG, и разрез наносится на 3 нуклеотида выше данного PAM. Полученный разрез репарируется с помощью клеточного механизма негомологичного соединения концов (Non-homologous end joining, NHEJ, process), заполняется случайными нуклеотидами, также могут появляться небольшие делеции и замены оснований. Данные мутации приводят к сдвигу открытой рамки считывания, то есть, к выключению или нокауту, целевого гена. В рамках данного подхода подбирают гРНК, комплиментарную локусу в пределах первых трёхсот нуклеотидов первого экзона целевого гена, чтобы полученные мутации (делеции и инсерции нуклеотидов в месте репарации направленного двух-

цепочечного разрыва ДНК) в этой области вызвали сдвиг открытой рамки считывания и, как следствие, выключение гена. Для корректной доставки редактирующего комплекса в клетку и для эффективной работы T7-полимеразы при синтезе РНК рекомендуется выбирать гРНК с нуклеотидом G на 5'-конце. В случае отсутствия такого нуклеотида у выбранной последовательности, его добавляют при синтезе праймера. Гидовая РНК объединяется в одну молекулу с последовательностью каркаса с образованием единой гРНК (sgRNA). С sgRNA связывается эндонуклеаза группы Cas.

Редактирующий комплекс, состоящий из sgRNA и эндонуклеазы, может быть доставлен в клетку как в виде смеси sgRNA и фермента, так и в виде плазмиды или мРНК, содержащих кассету данных генов. Способы доставки выбираются в зависимости от типа используемых в эксперименте клеток. Для икры чаще используют метод микроинъекций, для клеточных линий – методы электропорации, трансфекции или липофильной трансдукции.

К настоящему моменту для карпа имеются публикации об экспериментальных работах по геномному редактированию с использованием нескольких генов-мишеней, однако результаты носят предварительный характер, и ни одна из работ не завершилась регистрацией породы или данными об испытаниях на последующих после редактирования поколениях рыб. Были проведены эксперименты с нокаутами гена миостатина (*myostatin*, *mstn*). Миостатин является обратным регулятором роста мышц, и его нокаут приводит к увеличению мышечной массы (выход филе) у рыбы за счёт повышения количества, гипертрофии и гиперплазии мышечных волокон [Zhong et al., 2016, Shahi et al., 2022]. Также проводились работы по редактированию у карпа гена транскрипционного фактора *sp7a*, у мутантов по которому наблюдались признаки редукции костей [Zhong et al., 2016]. Для установления эффективности геномного редактирования часто используется дополнительно проведение редактирования, проявляющееся в заметном изменении фенотипа, чаще всего изменение или утрата окраски, заметное на самых ранних стадиях онтогенеза. На карпе были проведены серии экспериментов по изменению пигментации у линии уцзянского карпа, который имеет ярко красное тело с чёрными пятнами. У данных рыб были выключены гены *asip1* и *asip2*, кодирующие сигнальный белок Агути, что привело к исчезновению характерных для дикого типа чёрных пятен и нарушению распределения меланофоров [Chen et al., 2019]. Нокаут гена рецептора меланокортина *mc1r* у данной линии карпа привёл к нарушению синтеза меланина

и снижению количества меланофоров, в результате чего рыбы приобретали сероватый цвет или становились альбиносами [Mandal et al., 2020]. Утрата тирозиназы 1 вследствие выключения гена *tyrp1* приводила к формированию серой или коричневой окраски кожи [Chen H. et al., 2021]. Также проведён эксперимент по получению популяции карпа обыкновенного, состоящей только из самок, в результате скрещивания самцов с выключенным геном *sup17a1*, кодирующим 17- α -гидроксилазу, с обыкновенными самками дикого типа [Zhai et al., 2022].

Целью нашей работы была разработка метода одновременного выключения двух паралогичных копий гена миостатина у карпа обыкновенного с помощью CRISPR/Cas9-системы с доставкой редактирующего комплекса в зиготу методом микроинъекций.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Подбор и синтез гидовых РНК

Для подбора гРНК использовались онлайн-сервисы CRISPOR [Concordet et al., 2018] и СНОРСНОР (version 3) [Labun et al., 2019]. Из серии подобранных гРНК эффективной оказалась одна последовательность, 104fw, с РАМ AGG: 5'-GCAGCCTTCCACAGCCA*CGGAGG-3'. Звёздочкой выделено место разреза, РАМ отмечен подчёркнутым шрифтом.

Синтез 104fw-sgRNA проводили методом ПЦР с перекрывающимися олигонуклеотидами и последующей транскрипцией. Олигонуклеотиды были синтезированы в ЗАО «Евроген». Прямой праймер был уникальным и, помимо направляющей последовательности, содержал промотор T7:

5'-GAAATtaatacgaactactatag**CAGCCTTCCACAGCCACG**GGTTTTAGAGCTAGAAATAGCAAG-3'.

Жирным шрифтом выделена гРНК, строчными буквами – последовательность T7-промотора.

Обратный праймер кодировал стандартный каркас гидовой РНК:

5'AAAAGCACCGACTCGGTGCCACTTTTTCAAGTTGAT AACGGACTAGCCTTATTTAACTTGCTATTTCTAGCTCTAAA AC-3'.

Для реакции ПЦР использовалась Phusion полимераза (New England Biolabs). Амплификацию проводили по следующей программе: денатурация 98 °C – 30 сек.; 35 повторений цикла 98 °C – 10 сек., 60 °C – 30 сек, 72 °C – 15 сек.; завершающая элонгация при 72 °C – 10 мин.

После синтеза проводили очистку продуктов ПЦР от остатков реакционной смеси методом спиртового переосаждения (преципитации): на 100 мкл ПЦР-про-

дукта использовали 17 мкл 3М ацетата натрия, pH 5.5, и 80 мкл изопропанола.

Затем проводили T7-транскрипцию гидовой РНК *in vitro* с использованием набора реагентов производства компании ООО «Биолабмикс» по стандартному протоколу. Для проведения микроинъекций использовали sgRNA с концентрацией выше 40 нг/мкл.

Оплодотворение икры карпа *in vitro*

Оплодотворение икры для использования в эксперименте проводилось *in vitro*. Сбор икры и спермы карпа проводился на базе рыбоводного комплекса ВНИИПРХ в утренние часы, после чего материал доставляли в лабораторию в холодных контейнерах при температуре +4 °C. От момента получения семенного материала до оплодотворения первой партии икры проходило 4-4,5 часа, до оплодотворения последней партии икры – 8-9 часов.

В чашке Петри диаметром 35 мм смешивали 1 см³ неоплодотворённой икры и две капли спермы. Перемешивание половых продуктов проводили с помощью гусиного пера или мягкой кисточки. После этого располагали икринки на длинном ребре предметного стекла и опускали стекло в резервуар с водой, направляя данное ребро вверх. В течение первых 45 сек. инкубации в воде икра карпа активировалась, оплодотворялась и приклеивалась к стеклу. Благодаря такой процедуре удавалось получить расположение анимального полюса икринки преимущественно направо от широкой грани предметного стекла, что удобно для последующего проведения микроинъекций.

Проведение микроинъекций

Для проведения микроинъекций использовались стереомикроскоп со светом, проходящим через основание предметного столика, микроманипулятор InjectMan® 4, Eppendorf AG, (Германия), Микроинжектор FemtoJet® 4i, Eppendorf AG, (Германия), универсальная стойка для установки микроманипулятора рядом со стереомикроскопом, Eppendorf AG (Германия).

Смесь компонентов редактирующего комплекса имела следующий состав: 2 мкл 104fw-sgRNA, 1,5 мкл Cas9, 1 мкл Cas-buffer 10 \times (ООО «Биолабмикс»), 6 мкл чистой H₂O.

Микрокапилляры для икры карпа обыкновенного с внутренним диаметром 1-3 мкм вытягивали на приборе RWD Micropipette puller (HF-3030B) из заготовок WPI 1B100F по программе Cycle = 1, Heat = 615, Pull = 0, Velocity = 50, Time = 250.

Микроинъекции проводили с углом наклона микрокапилляра в 30° к горизонтальной оси, давление при инъекции (Pi) составляло 800 hPa, компенсацион-

ное давление (Pc) – 90 hPa, время инъекции – 1 сек., результирующий объём инъекции – 0,5 nL.

Микроинъекции проводили в зиготу карпа на стадии одной клетки до начала дробления в анимальный полюс или в область желтка на границе анимального полюса.

Подращивание и содержание молоди карпа обыкновенного

Эмбрионы карпа культивировались в чашках Петри семь дней при температуре +21°C. Выклев личинок происходил на третий день после оплодотворения. На пятый день после оплодотворения личинкам предлагали перемолотый стартовый корм. На седьмой день после оплодотворения личинки активно питались и становились на плав. Такую молодь пересаживали в лотки с аэрацией и кормили свежими науплиусами артемии. Примерно через 1-1,5 месяца личинки достигали длины тела 1-1,5 см, их пересаживали в лотки системы замкнутого водоснабжения и переводили на готовый стартовый корм с высоким содержанием белка изготовления ФГБНУ «ВНИРО». Параметры воды для *Cyprinus carpio*: T = +21 °C, dGH = 5-20, pH = 6,8-7,5. При достижении мальками длины тела в 3-6 см у них были отобраны фрагменты плавников размером около 3 мм². Из полученных образцов была выделена ДНК с использованием сорбционных колонок с кремни-

вым фильтром [Ivanova et al., 2006]. Данная ДНК была использована для детекции событий редактирования.

Аmplification фрагмента гена *mstn*, включающего сайт редактирования

Для амплификации фрагмента гена *mstn* вокруг сайта редактирования была использована система гнездовой ПЦР (Nested-PCR, табл. 1). Данный подход позволял идентифицировать, на какой из двух хромосом, A9 или B9, локализована копия гена, повысить специфичность ПЦР и увеличить выход ампликонов. Для фрагмента гена *mstn*, расположенного на хромосоме B9, наблюдалась высокая эффективность первого раунда Nested-PCR. Поэтому после первого раунда проведены реакции секвенирования с внутренних праймеров. После проведения ПЦР полученный продукт в объёме 3 мкл очищали от примесей методом этанол-преципитации по описанному выше протоколу.

Детекция событий редактирования методом секвенирования по Сэнгеру

Терминирующую реакцию секвенирования проводили с использованием обратного праймера второго раунда Nested-PCR (*mstn_check_R*), с набором «BrilliantDye™ Terminator, v 3.1» по стандартному протоколу. Программа амплификации: денатурация 95,2 °C – 2 мин.; 50 повторений цикла: 95,2 °C –

Таблица 1. Система Nested-PCR для амплификации фрагментов генов *mstn* у карпа обыкновенного
Table 1. Nested-PCR system for amplification of *mstn* gene fragments in common carp

Раунд Nested-PCR	Локализация на хромосоме	Название праймера	Последовательность праймера	Параметры амплификации	Полимераза	Размер продукта
I	A9	CC_A9_mstn_n_F	CCACAAGATGGCGCTACGTA	98 °C – 2 мин. 35 циклов: 96 °C – 10 сек. 56 °C – 30 сек. 72 °C – 3 мин. 72 °C – 5 мин. 12 °C – ∞	Fuzz	1977 пн
		CC_A9_mstn_n_R	TCTGCTCTAGGTGGGACGAA			
	B9	CC_B9_mstn_n_F	TACGGTGCTGCTCAAGTTGT	98 °C – 2 мин. 35 циклов: 96 °C – 10 сек. 60 °C – 30 сек. 72 °C – 3 мин. 72 °C – 5 мин. 12 °C – ∞	Fuzz	1626 пн
		CC_B9_mstn_n_R	AGCAGCTGAACTCACCAGTC			
II	A9, B9	mstn_check_F	GGAGATATAACGGCGCACCA	95 °C – 5 мин. 35 циклов: 95 °C – 10 сек. 60 °C – 30 сек. 72 °C – 30 сек. 72 °C – 5 мин. 12 °C – ∞	Taq	316 пн
		mstn_check_R	TACGTTCTGTGGCCATGGTC			

10 сек., 53,5 °C – 10 сек., 59,5 °C – 4 мин.; хранение при 12 °C.

Полученные продукты снова очищали методом этанол-преципитации, растворяли в 12 мкл формамида и денатурировали при температуре 95 °C в течение 2 мин. Секвенирование образцов ДНК проводили на приборе ABI Prism 3130xl согласно протоколу фирмы-изготовителя (Applied Biosystems, USA). Анализ последовательностей проводился в программе Geneious 10.0.5. [Kearse et al., 2012]. Для выполнения работы использовалось оборудование Центра коллективного пользования «Рыбохозяйственная геномика» ФГБНУ «ВНИРО».

Детекция событий редактирования методом NGS-секвенирования

NGS-секвенирование было проведено для шести образцов, отредактированных по *mstn* с хромосомы A9 и для пяти образцов с хромосомы B9. Для секвенирования были использованы внутренние праймеры второго раунда Nested-PCR с прикрепленными к ним TruSeq-адапторами, представляющими собой уникальные последовательности ДНК для индивидуального мечения образцов. Последовательности праймеров представлены ниже, адапторная часть выделена жирным шрифтом:

mstn_F_Tru: **CTACACGACGCTCTTCCGATCT**GAGATATAACGGCGCACCA

mstn_R_Tru: **CAGACGTGTGCTCTTCCGATCT**TACGTTCTGTGGCCATGGTC

Протокол подготовки библиотеки образцов для секвенирования включал в себя следующие стадии: индексная ПЦР, очистка ПЦР-продуктов набором «AmpureXP beads 0.8x», измерение концентрации полученных ПЦР-продуктов на приборе Qubit с набором «HS DNA», нормализация концентрации до 4 нМ,

пулирование образцов в библиотеку. Секвенирование образцов было проведено на приборе Surfseq (технология Illumina) на базе ООО «Геномед», Москва в режиме парноконцевых чтений 150+150. Биоинформатическая обработка включала в себя процессы триммирования и фильтрации и определение уникальных последовательностей в каждом образце в пакете программ usearch v11. Подсчёт вариантов редактированных последовательностей проводился с учётом частоты встречаемости в образце (не менее 5%), что с большой долей вероятности указывало на возникновение мутации вплоть до пятого-шестого этапов дробления (16-32 бластомера).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Выживаемость личинок на пятый день после оплодотворения

Эмбрионы карпов в условиях лаборатории показывали высокую смертность в первый день после оплодотворения, на стадии, предшествующей выуплению личинки, и на стадии перехода личинки на активное питание как в экспериментальной группе, так и в контрольной. Оценка выживаемости личинок карпа обыкновенного была проведена после выклева на 5-й день после оплодотворения. Она составила 36,6% и 45% в экспериментальной и контрольной группах соответственно. Отход личинок в обеих группах продолжился и на более поздних стадиях развития молоди с примерно одинаковой интенсивностью.

Детекция событий редактирования методом секвенирования по Сэнгеру

Если в хроматограмме образца на три нуклеотида выше PAM резко снижалось качество сиквенса, выра-

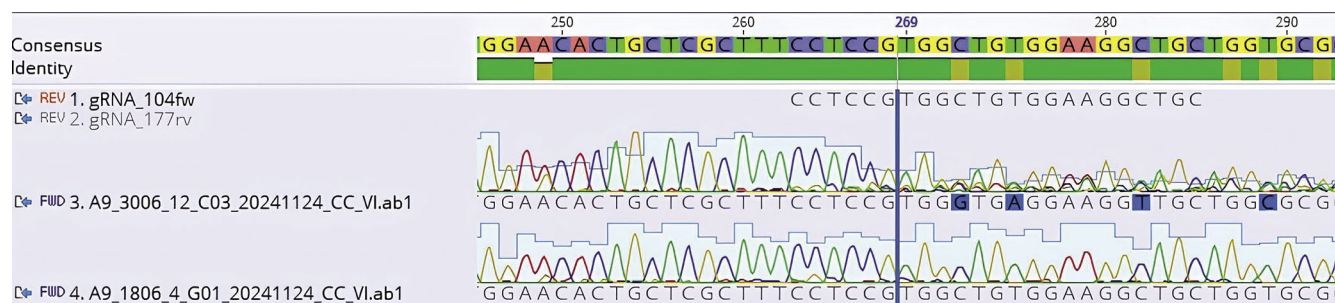


Рис. 1. Хроматограмма секвенирования по Сэнгеру отредактированного (A9_3006_12) и неотредактированного образцов (A9_1806_4). Так как секвенирование проходило с обратного праймера, то последовательность гРНК на рисунке записана в направлении 3'-5' CTT – последовательность PAM. Место ожидаемого двухцепочечного разреза эндонуклеазой CAS9 с последующей репарацией и включением инделов отмечено синей вертикальной линией.

Fig. 1. Sanger sequencing chromatogram of the edited (A9_3006_12) and unedited (A9_1806_4) samples. gRNA sequence is written in the 3'-5' direction because of sequencing performed with reverse primer. CTT is the PAM sequence. The cut site is marked with a blue line

жающееся в наложении пиков при снижении их высоты, то такой образец считали отредактированным (образец A9_3006_12 на рис. 1). Из 115 исследованных образцов события редактирования были обнаружены в 12 (10,4%).

Детекция событий редактирования методом NGS-секвенирования

Для валидации результатов секвенирования по Сэнгеру для шести образцов, отредактированных по *mstn* с хромосомы A9, и для пяти образцов с хромосомы B9 было проведено NGS-секвенирование на платформе Illumina. Во всех исследованных образцах, для которых был выявлен сдвиг рамки методом секвенирования по Сэнгеру, были обнаружены последовательности с вставками и делециями. Таким образом NGS-секвенирование полностью подтвердило результаты секвенирования по Сэнгеру. Следует отметить, что во всех случаях успешного редактирования было обнаружено, что у рыб были отредактированы обе паралогические копии гена *mstn* из обоих субгеномов А и В.

Варианты отредактированных фрагментов гена *mstn* по данным NGS-секвенирования представлены на рис. 2.

Полиморфизм в позиции 67 от начала исследованного фрагмента позволяет отличить последовательности с хромосомы A9 (нуклеотид С) и B9 (нуклеотид Т). Строка 1 – гидовая РНК gPNA_104fw. Строка 2 – последовательность A9-*mstn* из базы данных NCBI. Строка 3 – образец с хромосомы A9, пример делеции и единичной замены в позиции 34 от начала фрагмента. Строка 4 – пример делеции. Строка 5 – образец с хромосомы A9, пример инсерции. Строка 6 – последовательность B9-*mstn* из базы данных NCBI. Строка 7 – образец с хромосомы B9, пример делеции и единичной замены в позиции 34 от начала фрагмента. Строка 8 – пример инсерции, пример амплификации фрагмента B9-хромосомы праймерами для фрагмента с A9-хромосомы. Строка 9 – пример инсерции. В стро-

ках 8 и 9 приведён пример длинной вставки, одинаковой у разных особей. Такие вставки похожи на результат гомологичной репарации, однако матрицы для данного механизма восстановления ДНК в клетку добавлено не было. Поиск с помощью функции BLAST данной последовательности в опубликованном геноме карпа результатов не дал.

В области редактирования были обнаружены делеции размером от 1 до 41 пн, инсерции размером от 1 до 9 пн, единичные замены оснований. Самые распространённые варианты мутаций – небольшие делеции в 1, 2 или 6 нуклеотидов во фрагменте B9-*mstn*. Всего в области редактирования было обнаружено 60 вариантов мутаций из 161 уникального прочтения, если рассматривать мутации фрагментов ДНК с хромосом A9 и B9 отдельно.

В каждом единичном образце было обнаружено от 3 (образец A9_IV_21) до 27 (образец A9_IV_14) уникальных ридов с количеством прочтений 1/16 от самого представленного из них.

ОБСУЖДЕНИЕ

Нами разработана система геномного редактирования гена *mstn* у карпа обыкновенного с одновременным редактированием двух паралогических копий гена *mstn* с учётом полиплоидной природы генома этого вида. Использование общей для двух имеющихся у карпа субгеномов гРНК позволяет получить нокаут обоих паралогов данного гена.

Технология NGS секвенирования позволяет получить длины парных прочтений по 150 пар нуклеотидов, что несколько ниже длины амплифицированного фрагмента, использованного при приготовлении библиотеки. Область редактирования гена *mstn* попадает в отрезок, следующий за прямым праймером, поэтому в дальнейшем можно ограничить секвенирование только данным вариантом. Секвенирование с обратного праймера не является информативным для этой задачи, так как не содержит участка редактиро-

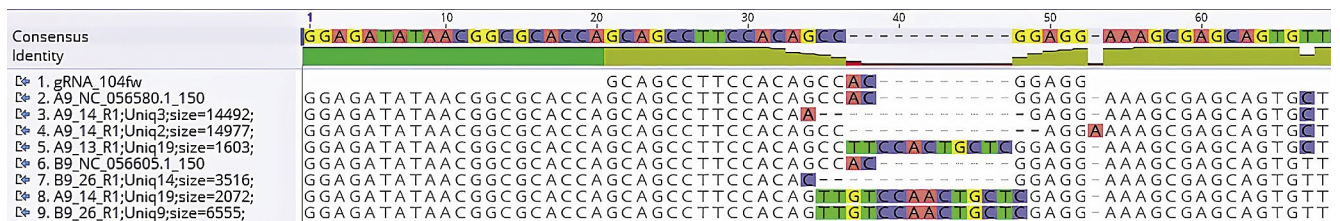


Рис. 2. Варианты отредактированных фрагментов гена *mstn* ДНК по данным NGS-секвенирования. A9_NC_056580 – референсная последовательность паралога *mstn* на субгеноме А, B9_NC_056605 – референсная последовательность паралога *mstn* на субгеноме В

Fig. 2. Mutations in the edited sequences of the *mstn* gene according to NGS data. A9_NC_056580 is the reference sequence of the *mstn* paralog from subgenome А, B9_NC_056605 is the reference sequence of the *mstn* paralog from subgenome В

вания, но может быть использовано для идентификации паралогичной копии в геноме (на хромосомах A9 или B9). В область в 150 пар нуклеотидов от прямого праймера попадает также замена нуклеотида С на Т в позиции 67 от начала фрагмента, позволяющая отличить фрагменты *mstn* с A9 и B9 хромосом, что упрощает идентификацию их происхождения. Если в эксперименте не планируется первоначальное секвенирование по Сэнгеру, а только NGS-анализ, то первый раунд Nested-PCR можно пропустить.

Так как в нашем исследовании был задействован клеточный механизм репарации ДНК по типу неомологического соединения концов, то мутации возникшие в области редактирования, носили случайный характер. Одинаковые варианты мутаций, том числе достаточно длинные инсерции, встречались у разных образцов. Для всех исследованных рыб выявлено 60 вариантов последовательностей, отличающихся от отредактированной формы.

Анализ генотипов полученных рыб выявил высокую степень соматического мозаицизма. У всех трансгенных особей F0, наряду с инсерционно-делеционными мутациями (инделами), детектировался аллель дикого типа (WT), что свидетельствует о происхождении тканей плавника как от отредактированных, так и от интактных клеток-предшественников. Наличие множества вариантов мутаций у одного организма указывает на то, что редактирующий комплекс в клетках эмбриона рыбы продолжает разрезание ДНК в дочерних клетках не менее четырёх-пяти раундов дробления. Он попадает в новые бластомеры, в каждом из которых процесс редактирования повторяется. Так как мы использовали эндонуклеазу Cas9, то уже изменённые варианты гена *mstn* могли подвергаться вторичному редактированию до тех пор, пока количество несоответствий между последовательностью гена и гРНК не достигало трёх [Guo et al., 2023]. В идеальном случае редактирующий комплекс попадает в клетку на стадии до первого деления, совершает один акт редактирования и разрушается. В таком случае мы бы наблюдали один вариант редактирования в одном образце. В наших условиях таких образцов обнаружено не было, все полученные особи имели мозаичный генотип. Это свидетельствует, что даже при введении комплекса Cas9 и гидовой РНК на стадии одного бластомера, первый акт редактирования протекает в эмбрионе после первого или второго раунда дробления, что приводит к наблюдаемому мозаицизму.

Для того, чтобы получить группу мутантных рыб с чистым, не мозаичным вариантом гена, необходимо проводить скрещивания отредактированных особей F0 между собой с генотипированием всех потомков.

Предположительно для закрепления мутации в линии клеток-предшественников половых клеток достаточно одного поколения (F1). Для формирования чистой линии по мутантному генотипу может понадобиться ещё одно поколение (F2). Жизнеспособность мозаичных F0, полученных в результате мутагенеза, не гарантирует высокой жизнеспособности потомков F1 и F2, гомозиготных по нокауту гена. Поэтому любые результаты редактирования надо оценивать не в первом поколении, а в последующих. Учитывая, что половое созревание карпов происходит на третьем году жизни, создание линии карпов с гомозиготных по нокауту вариантам в обоих паралогичных копиях гена *mstn* может занять от шести лет.

Миостатин – это обратный регулятор роста мышц, который начинает экспрессироваться и работать на той стадии роста и развития рыбы, когда животное уже достигло оптимальных размеров в зависимости от условий среды. Поэтому эффект от нокаута гена *mstn* мы ожидаем увидеть, когда отредактированные рыбы достигнут более зрелого возраста. В работе Zhong и соавторов [Zhong et al., 2016] отличия по длине и массе тела между отредактированными по *mstn* особями карпа и диким типом наблюдались уже с первого месяца жизни. В нашем случае достоверных различий в размере и массе мальков контрольной и отредактированной группы не наблюдается.

Для расширения списка кандидатных генов для нокаута с целью улучшения хозяйственно-ценных признаков у карпа обыкновенного можно обратиться к работам, выполненным на других представителях семейства Карповые [Orlova et al., 2024]. Список генов, подходящих для нокаута, у любого организма неизбежно будет достаточно ограниченным. Работа генов у каждого организма настроена так, чтобы максимально способствовать приспособленности к условиям окружающей среды. Очень мало существует генов, выключение которых приводит к появлению признаков, повышающих жизнеспособность или улучшающих хозяйственно-ценные признаки особей. Тем не менее, можно сказать, что возможности нокаута генов для улучшения хозяйственно-ценных признаков карпа обыкновенного пока не исчерпаны.

Технологии геномного редактирования быстро развиваются, в этой области появляются новые инструменты. Так сегодня реализована возможность вносить мутации одновременно в несколько ДНК-локусов одного организма, избегать ошибочного редактирования нецелевых локусов (офф-таргет эффект). Перспективно использование нокин-подхода, позволяющего направленно вносить в ДНК реципиента новые последовательности, например промоторы, активирующие

молчащие до этого гены, последовательности доменов или целых генов, экспрессию которых хочется получить в отредактированной линии. Геномное редактирование – удобный и точный метод мутагенеза для улучшения хозяйственно-ценных признаков аквакультурных видов рыб, в том числе карпа обыкновенного.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые в России разработана и опробована CRISPR/Cas9-система для выключения двух паралогичных копий гена миостатина у карпа обыкновенного. Получены рыбы F0-поколения с запрограммированными мутациями. Все полученные особи мозаичны по данному локусу. Для закрепления мутаций в линии зародышевых половых клеток и получения гомозигот по мутантному генотипу требуется проведение дальнейших скрещивания и получения потомков F1 и F2.

Благодарности

Авторы выражают искреннюю благодарность за помощь В.Н. Дементьеву, Д.А. Балашову, К.В. Ковалеву и Ю.А. Новоселовой (ВНИИПРХ), И.Ф. Олемскому, М.А. и А.А. Ёжкиным, Д.П. Савченко (ЦИ ВНИРО), А.М. Орлову (ИО РАН), А.Д. Золотаренко (ИОГен РАН), а также вдумчивым анонимным рецензентам данной статьи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

Финансирование

Работа выполнена в рамках гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации «Геномная селекция как инструмент интенсификации создания новых отечественных пород и линий лососевых рыб для товарной аквакультуры» № 075-15-2025-479 от «30» мая 2025 г.

ЛИТЕРАТУРА/ REFERENCES

Chen H., Wang J., Du J., Mandal B.K., Si Z., Xu X., Yang H., Wang C. 2021. Analysis of recently duplicated TYRP1 genes and their effect on the formation of black patches in Oujiang color common carp (*Cyprinus carpio* var. *color*) // *Anim. Genet.* V. 52. P. 451-460. DOI: 10.1111/age.13071

Chen H., Wang J., Du J., Si Z., Yang H., Xu X., Wang C. 2019. ASIP disruption via CRISPR/Cas9 system induces black patches dispersion in Oujiang color common carp // *Aquaculture.* V. 498. P. 230-235. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2018.08.057

Chen L., Li C., Li B., Zhou X., Bai Y., Zou X., Zhou Z. et al. 2024. Evolutionary divergence of subgenomes in common carp

provides insights into speciation and allopolyploid success // *Fundamental Research.* V. 4. P. 589-602. DOI: 10.1016/j.fmre.2023.06.011

Concordet J.-P., Haussler M. 2018. CRISPOR: intuitive guide selection for CRISPR/Cas9 genome editing experiments and screens // *Nucleic Acids. Res.* V. 46. P. W242-W245. DOI: 10.1093/nar/gky354

Doudna J.A., Charpentier E. 2014. The new frontier of genome engineering with CRISPR-Cas9 // *Science.* V. 346(6213). P. 12580-96. DOI: 10.1126/science.1258096

Guo C., Ma X., Gao F., Guo Y. 2023. Off-target effects in CRISPR/Cas9 gene editing // *Front. Bioeng. Biotechnol.* V. 11. P. 1143-157. DOI: 10.3389/fbioe.2023.1143157

Ivanova N.V., Deward J.R., Hebert P.D.N. 2006. An inexpensive, automation-friendly protocol for recovering high-quality DNA // *Molecular Ecology Notes.* V. 6(4). P. 998-1002. DOI: 10.1111/j.1471-8286.2006.01428.x

Kearse M., Moir R., Wilson A., Stones-Havas S., Cheung M., Sturrock S., Buxton S., Cooper A., Markowitz S. et al. 2012. Geneious Basic: An integrated and extendable desktop software platform for the organization and analysis of sequence data // *Bioinformatics.* V. 28(12). P. 1647-2164. DOI: 10.1093/bioinformatics/bts199

Labun K., Montague T.G., Krause M., Torres Cleuren Y.N., Tjeldnes H., Valen E. 2019. CHOPCHOP v3: expanding the CRISPR web toolbox beyond genome editing // *Nucleic Acids. Res.* V. 47. P. W171-W174. DOI: 10.1093/nar/gkz365

Mandal B.K., Chen H., Si Z., Hou X., Yang H., Xu X., Wang J., Wang C. 2020. Shrunken and scattered black spots turn out due to mc1r knockout in a white-black Oujiang color common carp (*Cyprinus carpio* var. *color*) // *Aquaculture.* V. 518. P. 734-822. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2019.734822

Orlova S.Yu., Ruzina M.N., Emelianova O.R., Sergeev A.A., Chikurova E.A., Orlov A.M., Muge, N.S. 2024. In search of a target gene for a desirable phenotype in aquaculture: genome editing of Cyprinidae and Salmonidae species // *Genes (Basel).* V. 15. P. 726. DOI: 10.3390/genes15060726

Shahi N., Mallik S.K., Sarma D. 2022. Muscle growth in targeted knockout common carp (*Cyprinus carpio*) *mstn* gene with low off-target effects // *Aquaculture.* V. 547. 737423. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2021.737423

Xu P., Zhang X., Wang X., Li J., Liu G., Kuang Y., Xu J., Zheng X., Ren L., Wang G., et al. 2014. Genome sequence and genetic diversity of the common carp, *Cyprinus carpio* // *Nat Genet.* V. 46. P. 1212-1219. DOI: 10.1038/ng.3098

Zhai G., Shu T., Chen K., Lou Q., Jia J., Huang J., Shi C., Jin X., He J., Jiang D. et al. 2022. Successful production of an all-female common carp (*Cyprinus carpio* L.) population using *cyp17a1*-deficient neomale carp // *Engineering.* V. 8. P. 181-189. DOI: 10.1016/j.eng.2021.03.026

Zhong Z., Niu P., Wang M., Huang G., Xu S., Sun Y., Xu X., Hou Y., Sun X., Yan Y. et al. 2016. Targeted disruption of *sp7* and myostatin with CRISPR-Cas9 results in severe bone defects and more muscular cells in common carp // *Sci. Rep.* V. 6. P. 229-253. DOI: 10.1038/srep22953

Поступила в редакцию 12.12.2025 г.
Принята после рецензий 24.12.2025 г.



УДК 551.46.09 (262.5)

Среда обитания водных биологических ресурсов

Об использовании показателей региональной атмосферной циркуляции для оценки особенностей миграции хамсы в северной половине Чёрного моря

Б.Н. Панов^{1,2}, В.А. Шляхов², Е.О. Спиридонова¹, А.Т. Кочергин²

¹ Керченский государственный морской технологический университет (ФГБОУ ВО «КГМТУ»), ул. Орджоникидзе, 82, г. Керчь, 298309

² Азово-Черноморский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), ул. Береговая, 21в, Ростов-на-Дону, 344002

E-mail: panov_bn@mail.ru

Цель работы – оценка многолетних изменений показателей атмосферной циркуляции над Чёрным морем в 2000-2021 гг. и их связи с многолетней динамикой запаса хамсы в Азовском море и вылова черноморской хамсы у берегов Крыма. **Материалы и методы:** в работе использовались данные августовских учётных съёмок хамсы в Азовском море, промысловой статистики о вылове черноморской хамсы, данные информационной системы Copernicus Marine Service по спутниковой альтиметрии в северо-восточной части Чёрного моря в апреле и у западных берегов Крымского полуострова в ноябре, индексы региональной атмосферной циркуляции, графические и статистические методы анализа этих данных. **Новизна:** элементом новизны в работе является использование внутригодовой и многолетней изменчивости показателей атмосферной циркуляции в исследовании миграции хамсы в Чёрном море. **Результат:** показано, что в северо-восточной части Чёрного моря в апреле усиление восточных атмосферных переносов благоприятно влияет на формирование высоких летних запасов хамсы в Азовском море, а в северо-западной части моря усиление западных атмосферных переносов в октябре способствует формированию высоких зимних промысловых запасов черноморской хамсы у берегов Крыма. Причиной этих изменений в атмосферной циркуляции является внутригодовая изменчивость завихрённости зональных атмосферных переносов над морем. **Практическая значимость:** полученные результаты могут быть использованы в прогностических оценках запасов азовской и черноморской хамсы в водах РФ с сезонной заблаговременностью.

Ключевые слова: атмосферные переносы, Чёрное море, циркуляция вод, хамса, миграция, запас, промысел.

The influence of regional atmospheric circulation on the migration of anchovy in the northern half of the Black Sea

Boris N. Panov^{1,2}, Vladislav A. Shlyakhov², Elena O. Spiridonova¹, Anatoliy T. Kochergin²

¹Kerch State Maritime Technological University («KSMTU»), 82, Ordzhonikidze str., Kerch, 298309, Russia

²Azov-Black Sea branch of VNIRO («AzNIIRKH»), 21 v, Beregovaya st., Rostov-on-Don, 344002, Russia

The aim of this work is to analyze the long-term changes of atmospheric circulation parameters over the Black Sea in 2000-2021 and compare them with the long-term dynamics of the anchovy stock in the Sea of Azov and the catch of Black Sea anchovy off the coast of Crimea.

Materials and methods: the data of August surveys of anchovy in the Sea of Azov, fishery statistics on the catch of Black Sea anchovy, data of Copernicus Marine Service information system on satellite altimetry in the north-eastern part of the sea in April and near the western shores of the Crimean Peninsula in November, indices of regional atmospheric circulation, graphical and statistical methods of analyzing these data were used in the work.

Scientific novelty: the element of novelty in the work is the use of annual and long-term variability of atmospheric circulation indices in the study of anchovy migration in the Black Sea.

Result: it is shown that in the north-eastern part of the Black Sea in April the strengthening of eastern atmospheric transports favorably influences the formation of high summer stocks of anchovy in the Sea of Azov, and the strengthening of western transports in the north-western part of the sea in October promotes on the formation of high commercial winter stocks of Black Sea anchovy near the coast of Crimea. The reason for these changes in atmospheric circulation is the annual variability of vorticity of zonal atmospheric transports over the sea.

Practical significance: the obtained results can be used in predictive assessments of the Azov and Black Sea anchovy reserves in the waters of the Russian Federations with seasonal advancement.

Keywords: atmospheric transports, Black Sea, water circulation, anchovy, migration, stock, fishery.

ВВЕДЕНИЕ

В Азово-Черноморском бассейне (АЧБ) европейский анчоус представлен как азовским – *Engraulis encrasicolus maeoticus* Pusanov, 1926 (азовская хамса), так и черноморским – *E. e. ponticus* Aleksandrov, 1927 (черноморская хамса) подвидами (расами), являющимися двумя разными единицами запаса и главным ресурсом рыболовства РФ в АЧБ. В ноябре – марте в водах РФ азовская хамса вылавливается преимущественно у черноморского побережья Краснодарского края, черноморская – у западных и южных берегов Крымского полуострова [Александрова и др., 2016; Кожурин и др., 2018]. После 2000 г. в оценках показателей урожайности и запаса азовской хамсы по данным лампарных съёмок выделяют три периода: 2000-2008 гг. – с низкими показателями, 2009-2016 гг. – с высокими, 2017-2021 гг. – с низкими [Мирзоян и др., 2023]. Массовая зимовка черноморской хамсы в эти годы в водах Крыма с промышленным изъятием более 6 тыс. т отмечалась в путины 2009/10, 2011/12, 2019/20, 2020/21 и 2021/22 гг. [Панов и др., 2023].

Ранее выполненные исследования показали, что важными океанографическими предпосылками, стимулирующими весеннюю миграцию хамсы в Азовское море (кроме общего увеличения температуры поверхностных вод (ТПМ) в Чёрном море) были усиления в северо-восточной части Чёрного моря (СВЧМ) в апреле западной составляющей геострофических течений [Панов и др., 2024 а]. В северо-западной части Чёрного моря (СЗЧМ) миграции хамсы к западным берегам Крыма в ноябре способствовали восточные геострофические течения [Панов и др., 2022].

В изменчивости указанных течений значительная роль в этих районах моря принадлежит морским синоптическим и квазистационарным антициклоническим вихревым образованиям [Панов и др., 2022, 2024 а; Иванов, Белокопытов, 2011].

Основным фактором, определяющим особенности течений верхнего слоя вод в Чёрном море, являются атмосферные переносы [Иванов, Белокопытов, 2011]. Однако исследования связей миграции хамсы в СВЧМ и СЗЧМ с особенностями атмосферной циркуляции нам не известны. Поэтому, целью данной работы является определение влияния атмосферной циркуляции на особенности циркуляции вод и миграции хамсы в СВЧМ в преднерестовый период и в СЗЧМ в предзимовальный период.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Данные о промысловом запасе хамсы в Азовском море, использованные в настоящей работе,

были собраны в ходе августовских учётных съёмок и государственного мониторинга биоресурсов, выполненных Азово-Черноморским филиалом ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ») в бассейне Азовского моря в 2000-2024 гг. Подход к оценке запасов хамсы в Азовском море был подробно рассмотрен в работе [Панов и др., 2024 а].

Сведения о вылове черноморской хамсы по путинам за период 2000-2013 гг. взяты из статистики Главрыбвода Украины, с 2014 г. – из статистики Азово-Черноморского территориального управления (АЧТУ) Росрыболовства с учётом экспертных оценок расового состава хамсы (по 2017 г. включительно). С 2018 г. по настоящее время долю черноморской расы в российских годовых выловах перестали выделять даже экспертно. В статистике АЧТУ к объёмам вылова черноморской хамсы стали условно относить вылов хамсы, полученный к западу от м. Сарыч (по 2020 г.), затем – вылов к западу от м. Меганом (2021-2022 гг.), к которому с 2023 г. стали добавлять её кавказский вылов к востоку от м. Кадош. Кавказская часть вылова в данной работе нами не учитывалась.

В качестве источника данных об аномалиях уровня (А, см) Чёрного моря для описания геострофической циркуляции вод (также как в [Панов и др., 2023, 2024а]) был использован продукт «European Ocean Gridded L4 Sea Surface Heights and Derived Variables NRT» информационной системы Copernicus Marine Service¹, созданный на основе спутниковой альтиметрии относительно среднего значения за период 1993-2012 гг. в узлах сетки с шагом 0,125°. Эти данные обрабатывались системой анализа спутниковой альтиметрической информации DUACS, которая традиционно используется для оперативных расчётов и формирования каталогов данных.

Для анализа многолетних изменений меридиональной компоненты наклона уровня моря определялись средние месячные значения (Δ Амер.ср., см) за ноябрь в СЗЧМ и за апрель в СВЧМ за 2000-2021 гг. между узлами сетки, указанными на рис. 1а и 1б. Также, как и в работах [Панов и др., 2023, 2024а], изменения зональных составляющих течений в СЗЧМ и СВЧМ представлены изменениями меридиональной компоненты наклона уровня поверхности моря, соответственно, Δ Амер.ср.сз и Δ Амер.ср.св, рассчитанными по формулам:

$$\Delta\text{Амер.ср.сз} = (\Delta A_{1-2} + \Delta A_{3-4})/2;$$
$$\Delta\text{Амер.ср.св} = (\Delta A_{5-6} + \Delta A_{2-4} + \Delta A_{1-3})/3.$$

¹ https://data.marine.copernicus.eu/products?option=com_csw&task=results. 20.02.2023.

Положительные значения меридиональной компоненты наклона уровня моря между двумя точкам поверхности (к примеру, ΔA_{1-2} – между точками 1 и 2) соответствуют западным геострофическим течениям, отрицательные – восточным.

Показатели атмосферных переносов за 2000-2024 гг. определялись на основании базы данных о приземном атмосферном давлении (P, мб) фоновых материалов АзНИИРХ для северо-западного (сз) и северо-восточного (св) районов Чёрного моря (рис. 1в) в пределах, ограниченных точками 1, 4, 5 и 8, в виде разности значений давления в меридиональном направлении. Меридиональные изменения атмосферного давления, характеризующие интенсивность зональных составляющих геострофического

ветра в северной половине Чёрного моря (западных (+Z) и восточных (-Z)), определялись по формулам:

$$Z_{сз} = [(P5 - P1) + ((P6 + P7)/2 - (P2 + P3)/2)]/2;$$

$$Z_{св} = [(P8 - P4) + ((P6 + P7)/2 - (P2 + P3)/2)]/2.$$

В исследованиях также использовались показатели атмосферной циркуляции над черноморским регионом в целом – коэффициенты разложения 16-точечного поля приземного атмосферного давления (см. рис. 1 в) по полиномам Чебышева [Кудрявая и др., 1974], которые достаточно эффективно использовались и ранее [Брянцев, 1992, 1996; Панов, Спиридонова, 2018; Панов и др., 2024 б] в морских экосистемных исследованиях в Азово-Черноморском регионе. Указанный подход предполагает возможность исполь-

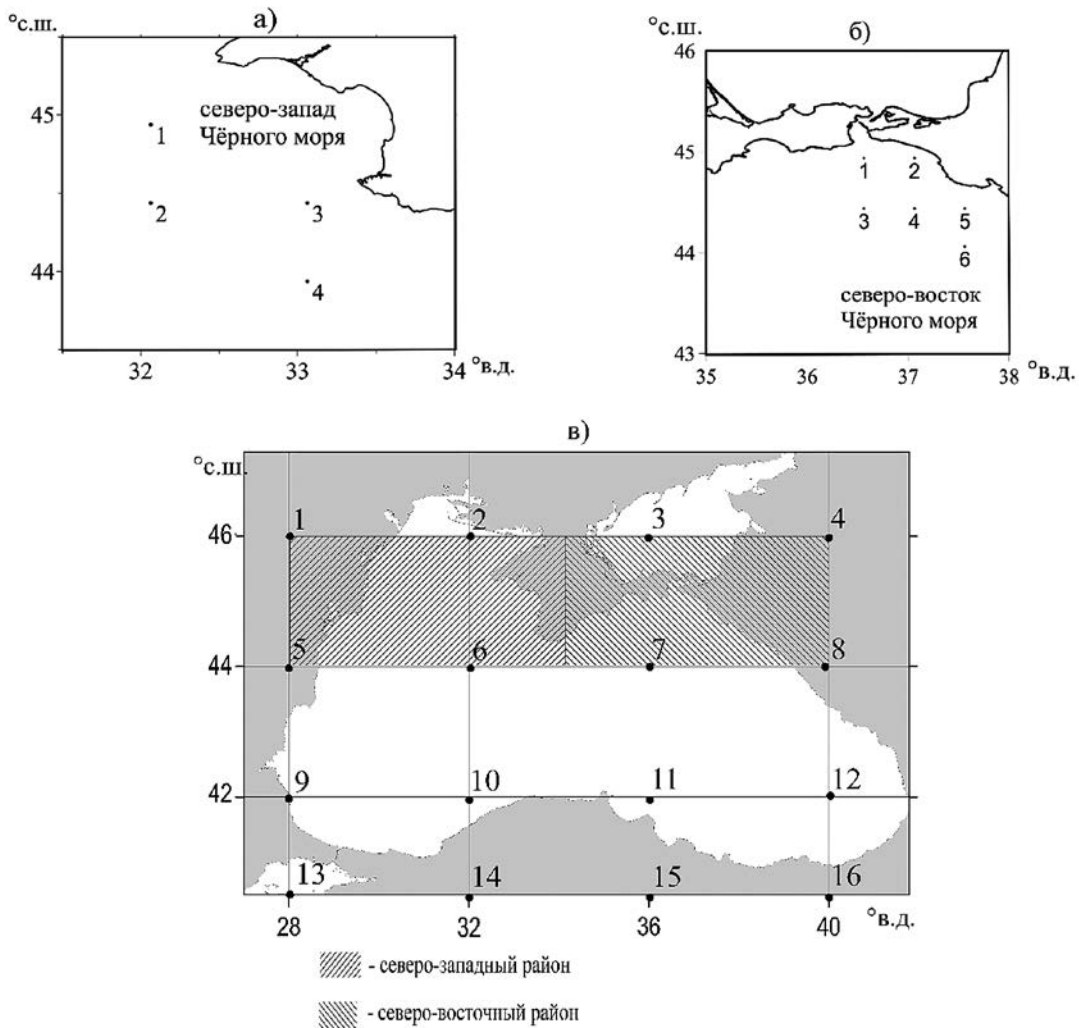


Рис. 1. Узлы сетки спутниковых данных, в которых использовалась ежедневная информация об аномалиях уровня в северо-западной части Чёрного моря в ноябре (а) и в северо-восточной части в апреле (б), а также сетка ежедневного мониторинга приземного атмосферного давления над Чёрным морем (в) в 2000-2021 гг.

Fig. 1. The satellite data grid nodes that used daily information on level anomalies in the northwestern Black Sea in November (a) and in the northeastern Black Sea in April (б), as well as the grid of daily surface atmospheric pressure monitoring over the Black Sea (в) in 2000-2021

зования пяти первых коэффициентов: A_{00} – среднее атмосферное давление; A_{01} – вклад зональных атмосферных переносов («+» – западных, «-» – восточных); A_{02} – разнонаправленные зональные переносы в северной и южной половинах региона («+» – против часовой стрелки, «-» – в обратную сторону); A_{10} – вклад меридиональных переносов воздуха («+» – южных, «-» – северных); A_{20} – разнонаправленные меридиональные переносы в западной и восточной частях региона («+» – против часовой стрелки, «-» – в обратную сторону).

По принципу наибольшей сходимости графиков многолетней изменчивости коэффициентов полинома Чебышева, запаса азовской хамсы и вылова черноморской хамсы у берегов Крыма для дальнейших исследований был выбран коэффициент A_{02} полинома, который рассматривается нами как индекс региональный атмосферной циркуляции. Этот индекс характеризует разнонаправленные зональные переносы в северной и южной половинах всего черноморского региона. Индекс принимает положительное значение в случаях, когда в северной половине моря формируется восточный перенос, а в южной половине – западный (циклонический характер завихренности). Индекс становится отрицательным, когда перенос происходит в противоположных направлениях (антициклонический характер завихренности). Далее, при оценке влияния атмосферной циркуляции на течения, запас и вылов хамсы, была рассмотрена многолетняя изменчивость трёх средних месячных показателей атмосферных переносов ($Z_{св}$, $Z_{сз}$ и A_{02}) за март, апрель, октябрь и ноябрь 2000-2021 гг.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

После 2000 г. в динамике оценок биомассы нерестового/промыслового запаса хамсы в Азовском море наблюдался переход от периода низкого запаса

к высокому, который начался в 2008 г. и продолжался до 2011 г. Затем, к 2016 г., запас хамсы также быстро уменьшился (рис. 2 а). Столь резкие межгодовые изменения запаса хамсы не являются феноменом для морских рыб с коротким жизненным циклом [Пятинский и др., 2020]. Подробно динамика запаса хамсы в Азовском море в эти годы была рассмотрена в [Панов и др., 2024].

Промысел черноморской хамсы у берегов Крыма до 2019 г. вёлся нерегулярно и с относительно небольшим выловом. В период с 2014 по 2018 гг. вылова черноморской хамсы у берегов Крыма практически не было (рис. 2 б). Одной из причин этого стало появление у крымских рыбаков возможности вести промысел азовской хамсы в Керченско-Кубанском промысловом районе. С 2019 г., в условиях сокращения запаса азовской хамсы, внимание крымских рыбаков к черноморской хамсе у берегов Крыма возросло. Этому способствовало появление на крымском шельфе значительных скоплений зимующей черноморской хамсы [Панов и др., 2023].

Исследования многолетней динамики запаса азовской и вылова черноморской хамсы позволили выявить периоды наиболее высоких значений этих показателей: 2009-2013 гг. – значительное увеличение запаса хамсы в Азовском море и 2019-2021 гг. – увеличение вылова хамсы, зимующей у берегов Крыма к западу от мысов Сарыч и Меганом (см. рис. 2).

Основной причиной увеличения этих показателей стала активизация миграции хамсы в Азовское море весной и к берегам Крыма осенью, обусловленная усилением западной составляющей геострофических течений в СВЧМ в апреле [Панов и др., 2024 а] и их восточной составляющей в СЗЧМ в ноябре [Панов и др., 2023].

Изменениям показателя течений (Δ Амер.ср.) за апрель в СВЧМ (рис. 3 а) в большей степени соответ-

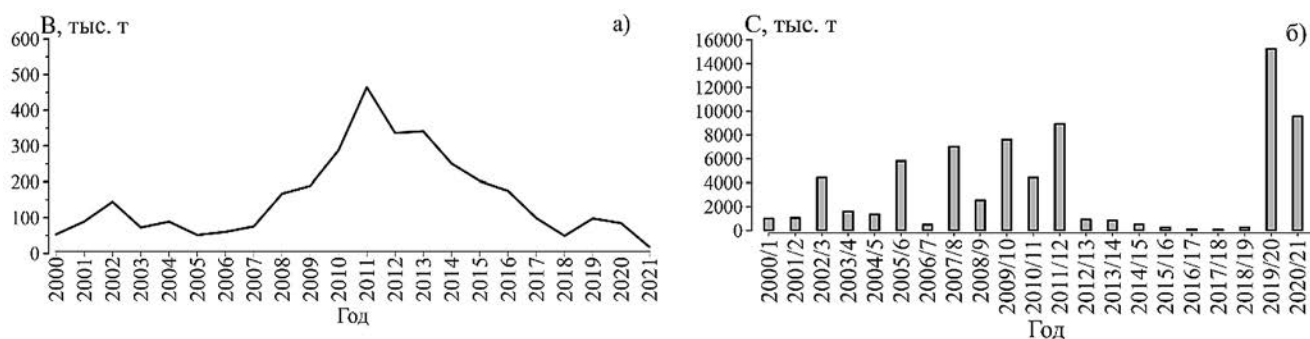


Рис. 2. Биомасса запаса хамсы (В, тыс. т) по августовскому лампарному учёту в Азовском море [Панов и др., 2024а] (а) и вылов черноморской хамсы у берегов Крыма (С, тыс. т) по промысловым сезонам (б) в 2000-2021 гг.

Fig. 2. Anchovy stock biomass (B, thousand tonnes) according to the August lamp survey in the Sea of Azov [Panov et al., 2024] (a) and catch of Black Sea anchovy off the coast of Crimea (C, thousand tonnes) by fishing seasons (б) in 2000-2021

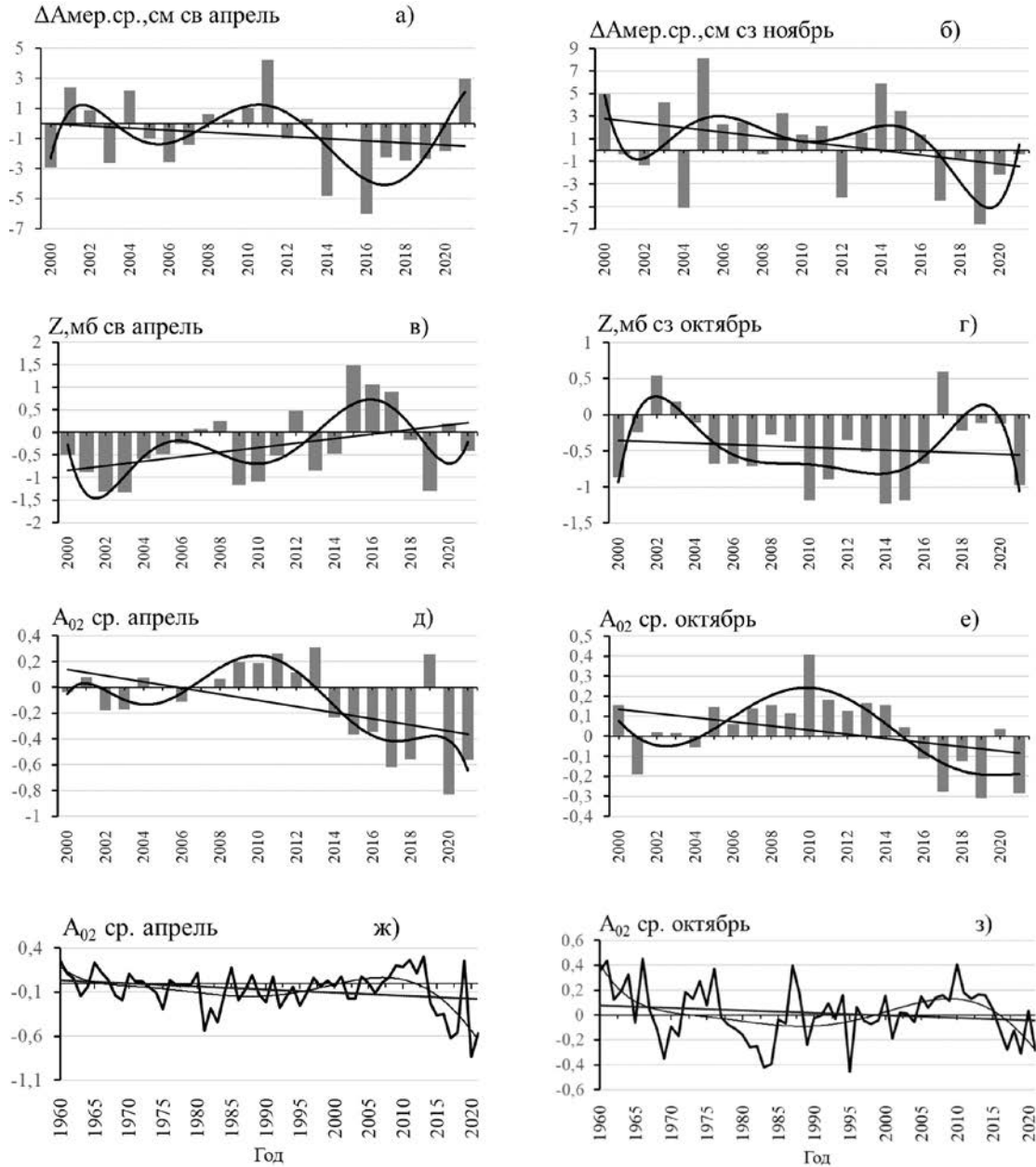


Рис. 3. Средние месячные значения: зональной составляющей геострофических течений (ΔA_{02}) в СВЧМ в апреле (а) и в СЗЧМ в ноябре (б); зональной составляющей геострофических ветров (Z , мб) в СВЧМ в апреле (в) и в СЗЧМ в октябре (г); индекса (A_{02}) завихрённости зональных атмосферных переносов над Чёрным морем в апреле (д, ж) и в октябре (е, з) (с полиномиальной 6-й степени и линейной аппроксимацией)

Fig. 3. Average monthly values of: zonal component of geostrophic currents (ΔA_{02}) in the NOBS in April (а) and in the NWBS in November (б); zonal component of geostrophic winds (Z , mb) in the NOBS in April (в) and in the NOBS in October (г); index (A_{02}) of zonal atmospheric transport curl over the Black Sea in April (д, ж) and in October (е, з) (with 6th degree polynomial and linear approximation)

ствовали изменения показателей $Z_{св}$ и A_{02} за апрель (рис. 3 в, д), чем изменения этих показателей за март (рисунки не приводятся).

Все три апрельских показателя демонстрируют наибольшие значения в период с 2009 по 2013 гг., соответствующие усилению западных течений, восточных ветров и атмосферных переносов в СВЧМ. При-

чём, индекс A_{02} , характеризующий весь черноморский регион, а не только его северо-восточную часть, как $Z_{св}$, и обладающий поэтому меньшей дисперсностью, лучше, чем $Z_{св}$, согласуется с изменениями зональной составляющей течений в СВЧМ и запасом хамсы в Азовском море. Индекс A_{02} за апрель свидетельствует о преобладании циклонической завихрённости зо-

нальных атмосферных переносов над морем в период с 2008 по 2013 гг. и усилении антициклонической завихренности после 2014 г. (рис. 3 д), которое совпало с низким уровнем запаса азовской хамсы в этот период (см. рис. 2 а).

В СЗЧМ изменчивость Δ Амер.ср. за ноябрь (рис. 3 б) лучше согласуется с изменчивостью показателей атмосферной циркуляции за октябрь (рис. 3 г, е), чем за ноябрь (рисунки не приводятся). Эта инертность связей в СЗЧМ (в отличие от СВЧМ) вполне объяснима большими (чем для СВЧМ) размерами этой акватории. Показатели октябрьской атмосферной циркуляции после 2015 г. демонстрируют ослабление восточных атмосферных переносов в СЗЧМ (рис. 3 г) и значительное усиление антициклонической завихренности зональных атмосферных переносов над морем в целом (рис. 3 е). Эти изменения привели к смене после 2015 г. преобладающих западных геострофических течений на восточные (рис. 3 б).

Статистическая оценка связи при доверительной вероятности 95% межгодовых изменений летнего запаса хамсы в Азовском море с апрельским индексом атмосферной циркуляции A_{02} определила коэффициент корреляции 0,48 с уровнем значимости 98%. Для вылова черноморской хамсы у берегов Крыма связь с октябрьским индексом атмосферной циркуляции статистически незначима (коэффициент корреляции – 0,35 при уровне значимости – 84%). По нашему мнению, это можно объяснить допущениями и условностями описанного выше формального определения величины вылова.

Совпадения характера изменений рассматриваемых показателей хамсы с течениями и индексом A_{02} в период 2000-2021 гг. позволяют оценить условия миграции хамсы в ретроспективе с 1960 г. по динамике индекса A_{02} . Сравнивая значения A_{02} в последний 20-летний период с предшествующими годами, следует отметить, что в апреле (рис. 3 ж) столь интенсивная и устойчивая завихренность зональных атмосферных переносов как положительная (с 2009 по 2013 гг.), так и отрицательная (с 2015 по 2021 гг.), ранее не наблюдалась. Это позволяет утверждать, что годы с 2009 по 2013 не имели ранее аналогов по благоприятности атмосферных переносов и морских течений для весенней миграции хамсы в Азовское море, а годы с 2015 по 2021 гг. (исключая 2019 г.) – аналога по их не благоприятности.

Сравнивая октябрьские значения индекса A_{02} за 2000-2021 гг. с таковыми за предшествующий период (рис. 3 з), можно констатировать, что устойчивой отрицательной завихренностью зональных атмосферных переносов, благоприятной для миграции черномор-

ской хамсы из СЗЧМ к берегам Крыма, характеризуются периоды с 1968 по 1971 гг. и с 1980 по 1985 гг. Возможно, в эти годы черноморская хамса зимовала у берегов Крыма в значительных количествах, но её промысел тогда осуществлялся рыбаками СССР практически исключительно в юго-восточной части Чёрного моря. Можно также предположить, что в годы с антициклонической завихренностью зональных атмосферных переносов в осенние месяцы, черноморская хамса, мигрируя на восток, активно смешивалась в СВЧМ с азовской хамсой, увеличивая её запас, зимующий у кавказского побережья.

Общая для всего 60-летнего периода, а также для последних 20 и 10 лет тенденция усиления отрицательной завихренности зональных атмосферных переносов в черноморском регионе (рис. 3 д-з) позволяет ожидать (при сохранении этого тренда) увеличения повторяемости сезонов, благоприятных для промысла черноморской хамсы у берегов Крыма, и уменьшения повторяемости лет с высокими запасами хамсы в Азовском море.

Исследования внутригодовой изменчивости среднесезонных значений индекса A_{02} показали его относительную устойчивость в течение года со сменой знака завихренности в марте и октябре (рис. 4 а), то есть в месяцы, предшествующие выше рассмотренным периодам миграции хамсы. Смещение сроков смены типа завихренности во внутригодовой изменчивости на более ранние или более поздние может радикально изменить характер течений, а следовательно, и особенности миграции хамсы. Рассмотрение ежегодных особенностей внутригодовой изменчивости средних месячных значений индекса A_{02} в период с 2000 по 2021 гг. позволило выделить три равно повторяющихся типа этой изменчивости (рис. 4 б). Первый тип характерен для 2000-2002, 2004-2005 и 2014-2015 гг. и представляет изменения, близкие к средним многолетним, с ярко выраженным минимумом в июне; второй тип, не имеющий фазы отрицательных значений индекса A_{02} , характерен для 2006-2013 гг., третий тип (отмечен в 2003 г. и с 2016 по 2021 гг.) отличается сравнительно низкими значениями индекса в весенние и осенние месяцы и наличием двух пиков антициклонической завихренности – в апреле и июле.

Годы второго типа относятся к годам с наибольшими запасами азовской хамсы. Средние апрельские индексы A_{02} в 2011 и 2013 гг. являются наибольшими (рис. 4 в). Годы третьего типа – это годы с высокими уловами черноморской хамсы у берегов Крыма. В ряду октябрьских значений A_{02} наименьшее отмечено в 2019 г. (рис. 4 г), то есть в год наибольших уловов черноморской хамсы у берегов Крыма.

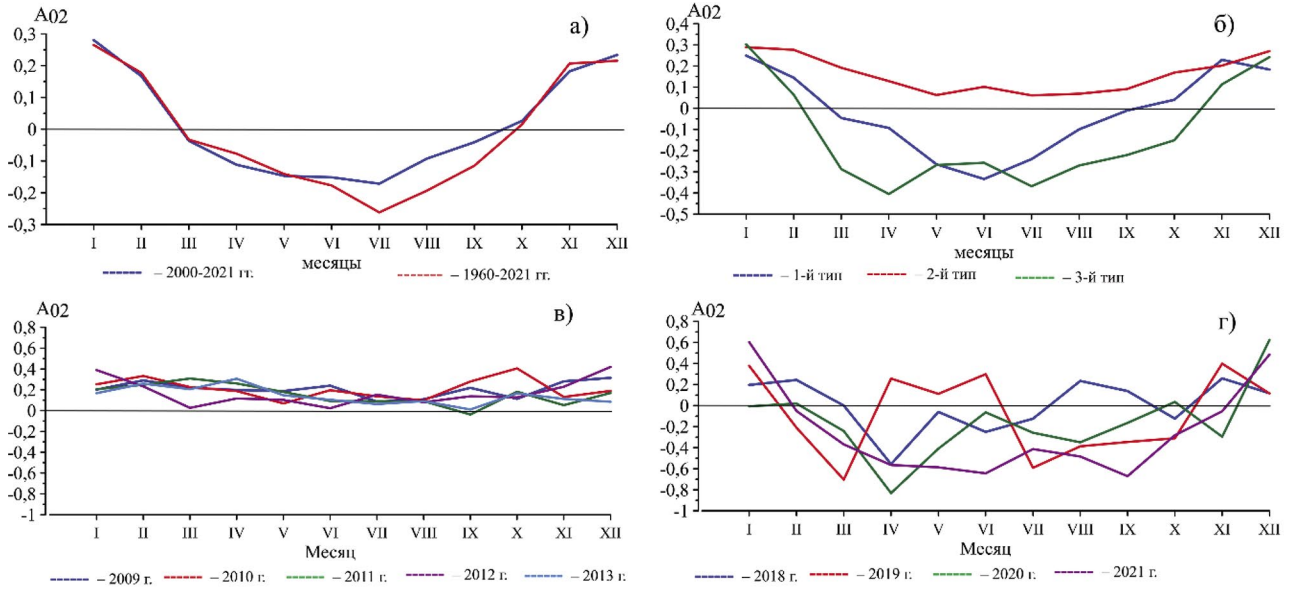


Рис. 4. Внутригодовая изменчивость средних месячных значений индекса A_{02} : многолетних по периодам (а), многолетних по типам (годы осреднения см. в тексте) (б) и для выборочных лет (в, г)

Fig. 4. Intra-annual variability of mean monthly values of the A_{02} index: multi-year by periods (a), multi-year by types (averaging years see in the text) (б) and for selective years (в, г)

Таким образом, появление в процессе внутригодовой изменчивости циклонической завихрённости зональных атмосферных переносов ($+A_{02}$) в апреле, так же, как и появление антициклонической их завихрённости ($-A_{02}$) в октябре, является отклонением от нормы внутригодового хода завихрённости зональных атмосферных переносов над Чёрным морем (см. рис. 4 а). Поиск причин, вызывающих эти благоприятные для запаса и промысла хамсы отклонения – направление дальнейших исследований связи атмосферной циркуляции с миграцией хамсы в Чёрном море. Усиление положительной завихрённости зональных атмосферных переносов над Чёрным морем в апреле (2-й тип внутригодовой изменчивости) формирует в СВЧМ западные течения, способствующие нагульно-нерестовому ходу хамсы в Азовское

море. Усиление отрицательной завихрённости в октябре (3-й тип внутригодовой изменчивости) формирует в СЗЧМ восточные течения, способствующие зимовальной миграции хамсы к берегам Крыма.

Средние за первый квартал значения индекса A_{02} оказались репрезентативными показательными для оценки средних месячных значений A_{02} за апрель и октябрь, а также для всего года (табл. 1), что может быть использовано как в дальнейших исследованиях, так и в прогнозировании характера циркуляции вод и поведения хамсы в СВЧМ весной и в СЗЧМ осенью.

Следует отметить, что представленная внутригодовая положительная корреляция значений показателя A_{02} указывает на то, что за неблагоприятными условиями для формирования высокого запаса азовской хамсы в апреле с высокой вероятностью последуют

Табл. 1. Статистически значимые ($\alpha \leq 0,05$) коэффициенты корреляции и их статистические ошибки между индексами A_{02} (средними за апрель, октябрь, первый квартал и весь год) для двух периодов*

Table 1. Statistically significant ($\alpha \leq 0.05$) correlation coefficients and their statistical errors between A_{02} (averaged for April, October, first quarter and the whole year) for two periods

Период	1960-2021 гг.			1990-2021 гг.		
	Месяц	X	I-III	Месяц	X	I-III
IV	-	0,41±0,12	0,35±0,12	IV	0,39±0,17	0,31±0,17
X	-	-	0,39±0,12	X	-	0,45±0,16
I-III	-	-	-	I-III	-	-
Год	-	-	0,68±0,09	Год	-	0,65±0,14
Год	-	-	0,67±0,10	Год	-	0,63±0,14
Год	-	-	0,75±0,09	Год	-	0,76±0,12

Примечание: * – Коэффициенты корреляции за период 1960-2021 гг. определялись для сравнения с коэффициентами, полученными для периода 1990-2021 гг., включающего в себя период исследований.

благоприятные условия для миграции черноморской хамсы к берегам Крыма в октябре-ноябре, и наоборот, годы, благоприятные для запаса азовской хамсы, будут неблагоприятными для промысла черноморской хамсы у крымских берегов.

Данные табл. 2 подтверждают представленные в табл. 1 внутригодовые связи значений A_{O_2} . Средние значения первого квартала в последние три года были близки к нулю, что уже позволяет отнести эти годы к третьему типу внутригодовой изменчивости индекса A_{O_2} , а значения индекса за апрель и ноябрь свидетельствуют о явном преобладании в эти годы антициклонической завихренности зональных атмосферных переносов. Это указывает на вероятность преобладания в СВЧМ в апреле и в СЗЧМ в ноябре восточной составляющей морских геострофических течений, соответственно, неблагоприятных для весенней миграции хамсы в Азовское море и благоприятных для осенней миграции хамсы к берегам Крыма. Оценки биомассы запаса и статистика вылова хамсы в 2022-2024 гг. в основном подтверждают описанные связи.

Учитывая то, что третий тип внутригодовой изменчивости завихренности зональных атмосферных переносов над Чёрным морем наблюдается непрерывно с 2016 г., можно рассматривать уменьшение промыслового запаса азовской хамсы как результат происходящих климатических изменений. То же, по всей видимости, можно сказать и об увеличении вылова черноморской хамсы у берегов Крыма.

ВЫВОДЫ

1. В северо-восточной части Чёрного моря в апреле усиление восточных геострофических ветров и ци-

клонической завихренности зональных атмосферных переносов над морем в целом в период с 2010 по 2014 гг. способствовали формированию западной составляющей геострофических течений, что благоприятствовало весенней миграции хамсы в Азовское море и формированию там её высоких запасов.

2. В северо-западной части Чёрного моря усиление в октябре западных геострофических ветров и антициклонической завихренности зональных атмосферных переносов над Чёрным морем после 2019 г. способствовало формированию в ноябре восточных геострофических течений, что способствовало формированию промысловых скоплений и увеличению вылова черноморской хамсы у берегов Крыма.

3. Наблюдаемая в последние годы тенденция усиления отрицательной завихренности зональных атмосферных переносов позволяет ожидать увеличения повторяемости благоприятных сезонов промысла черноморской хамсы у берегов Крыма и уменьшения повторяемости лет с высокими запасами хамсы в Азовском море.

4. Полученные результаты могут быть использованы в прогностических оценках летних запасов азовской и зимних запасов черноморской хамсы у берегов Крыма с сезонной заблаговременностью.

5. С 2009 по 2013 гг. циклоническая завихренность преобладала над морем в течение всего года, что и определило формирование благоприятных гидрометеорологических условий для весенней миграции хамсы в Азовское море. После 2018 года с февраля по октябрь преобладала антициклоническая завихренность, что способствовало осенней миграции хамсы к берегам Крыма.

Табл. 2. Показатели атмосферной циркуляции, запаса азовской хамсы (по лампарным съёмкам) и вылова черноморской хамсы у берегов Крыма в 2022-2024 гг.

Table 2. Indicators of atmospheric circulation, stock of the Azov anchovy (according to lamp surveys) and catch of the Black Sea anchovy off the coast of Crimea in 2022-2024

Показатель	Год		
	2022	2023	2024
A_{O_2} ср. I-III	0,05	-0,02	-0,06
A_{O_2} ср. IV	-0,40	-0,31	-0,53
A_{O_2} ср. X	-0,57	-0,63	-0,41
A_{O_2} ср. год	-0,29	-0,38	-0,25
Запас азовской хамсы перед путинной, тыс. т*	147	89	82
Вылов черноморской хамсы у берегов Крыма за путину (IV кв. указанного года и I кв. следующего), тыс. т**	1,5	10,5	11,2

Примечание: * – в [Шляхов и др., 2023] отмечена высокая неопределённость оценок запаса азовской хамсы в 2021 и 2022 гг. по лампарному учёту, более надёжны оценки по продукционным моделям – 70 и 81 тыс. т, соответственно; ** – промысел хамсы в путину 2022-23 гг. у западных берегов Крыма и г. Севастополь вёлся в условиях значительных ограничений мореплавания.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов.

Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

Финансирование

Исследование выполнено в порядке личной инициативы.

ЛИТЕРАТУРА

- Александрова У.Н., Игнатенко А.С., Перевалов О.А., Поверенная А.А., Рогов С.Ф., Леонтьев С.Ю., Бондаренко М.В. 2016. Состояние сырьевой базы в Азово-Черноморском рыбохозяйственном бассейне в 2013 г. и её использование промыслом // Труды ВНИРО. Т. 160. С. 12-25.
- Брянцев В.А. 1992. Гидрометеорологические основы рыбопромышленного прогнозирования в Чёрном море // Моря СССР. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том IV. Чёрное море. Вып. 2. / А.И. Симонов, А.И. Рябинин, Д.Е. Гершанович ред. СПб.: Гидрометеоиздат. С. 207-216.
- Брянцев В.А. 1996. Информация в форме суммарных аномалий атмосферной циркуляции и её воздействие на экосистему Чёрного моря // Доповіди національної академії наук України. № 9. С. 163-168.
- Иванов В.А., Белокопытов В.Н. 2011. Океанография Чёрного моря. Севастополь: МГИ НАНУ. 212 с.
- Кожурин Е.А., Шляхов В.А., Губанов Е.П. 2018. Динамика уловов промысловых рыб Крыма в Чёрном море // Труды ВНИРО. Т. 171. С. 157-169.
- Кудрявая К.И., Серяхов Е.И., Скриптунова Л.И. 1974. Морские гидрологические прогнозы. Л.: Гидрометиздат. 310 с.
- Мирзоян З.А., Надолинский В.П., Мартынюк М.Л., Надолинский Р.В. 2023. Трофические основы формирования запасов хамсы в Азовском море // Водные биоресурсы и среда обитания. Т. 6. № 2. С. 78-96.
- Панов Б.Н., Спиридонова Е.О. 2018. Современные тенденции изменений характера атмосферной циркуляции в Азово-Черноморском регионе // Метеорология и гидрология. № 1. С. 43-51.
- Панов Б.Н., Смирнов С.С., Спиридонова Е.О., Негода С.А. 2022. Оценка условий осенней миграции черноморской хамсы к берегам Крыма в 2019 и 2020 годах по данным с ИСЗ // Исследование земли из космоса. № 6. С. 63-73.
- Панов Б.Н., Смирнов С.С., Спиридонова Е.О. 2023. Многолетние изменения океанографических факторов осенней миграции черноморской хамсы к берегам Крыма по данным с ИСЗ в 2000-2021 годах // Труды ВНИРО. Т. 192. С. 152-161.
- Панов Б.Н., Шляхов В.А., Белоусов В.Н., Спиридонова Е.О., Смирнов С.С. 2024а. Океанографические условия весенней миграции хамсы как фактор формирования её нерестового запаса в Азовском море // Труды ВНИРО. Т. 197. С. 91-100.

Панов Б.Н., Спиридонова Е.О., Кочергин А.Т. 2024б. Связь изменчивости характеристик атмосферной циркуляции в Азово-Черноморском регионе и индексов основных мод крупномасштабной циркуляции атмосферы в Атлантико-Евразийском секторе // Метеорология и гидрология. № 10. С. 27-37.

Пятинский М.М., Шляхов В.А., Шляхова О.В. 2020. Динамика запасов шпрота в Чёрном море и перспективы его освоения // Вопросы рыболовства. Т. 21. № 4. С. 396-410.

Шляхов В.А., Негода С.А., Пятинский М.М., Шляхова О.В. 2023. Оценка состояния запасов хамсы и шпрота в российских водах Чёрного моря в 2022-2023 гг. // Труды АЗНИИРХ. Т. 4. С. 9-26.

REFERENCES

- Alexandrova U.N., Ignatenko A.S., Perevalov O.A., Attorney A.A., Rogov S.F., Leontiev S.Yu., Bondarenko M.V. 2016. The state of the raw material base in the Azov-Black Sea fisheries basin in 2013 and its use by fisheries // Trudy VNIRO. V. 160. P. 12-25. (In Russ.).
- Bryantsev V.A. 1992. Hydrometeorological fundamentals of fishing forecasting in the Black Sea // Seas of the USSR. Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas of the USSR. V. IV. The Black Sea. Iss. 2. / A.I. Simonov, A.I. Ryabinin, D.E. Gershanovich eds. St. Petersburg: Gidrometeoizdat. P. 207-216. (In Russ.).
- Bryantsev V.A. 1996. Information in the form of total anomalies of atmospheric circulation and its impact on the ecosystem of the Black Sea // Addendum to the National Academy of Sciences of Ukraine. No. 9. P. 163-168. (In Russ.).
- Ivanov V.A., Belokopytov V.N. 2011. Oceanography of the Black Sea. Sevastopol: MHI NASU. 212 p. (In Russ.).
- Kozhurin E.A., Shlyakhov V.A., Gubanov E.P. 2018. Dynamics of catches of commercial fish of the Crimea in the Black Sea // Trudy VNIRO. V. 171. P. 157-169. (In Russ.).
- Kudryavaya K.I., Seryakhov E.I., Skriptunova L.I. 1974. Marine hydrological forecasts. Leningrad: Gidrometizdat. 310 p. (In Russ.).
- Mirzoyan Z.A., Nadolinsky V.P., Martynyuk M.L., Nadolinsky R.V. 2023. Trophic foundations of the formation of anchovy stocks in the Sea of Azov // Aquatic bioresources and habitat. V. 6. No. 2. P. 78-96. (In Russ.).
- Panov B.N., Spiridonova E.O. 2018. Modern trends in changes in the nature of atmospheric circulation in the Azov-Black Sea region // Meteorology and Hydrology. No. 1. P. 43-51. (In Russ.).
- Panov B.N., Smirnov S.S., Spiridonova E.O., Negoda S.A. 2022. Assessment of the conditions of autumn migration of the Black Sea anchovy to the shores of Crimea in 2019 and 2020 according to satellite data // Earth Exploration from space. No. 6. P. 63-73. (In Russ.).
- Panov B.N., Smirnov S.S., Spiridonova E.O. 2023. Long-term changes in oceanographic factors of the autumn migration of the Black Sea anchovy to the shores of Crimea according to satellite data in 2000-2021 // Trudy VNIRO. V. 192. P. 152-161. (In Russ.).

- Panov B.N., Shlyakhov V.A., Belousov V.N., Spiridonova E.O. Smirnov S.S.* 2024a. Oceanographic conditions of spring migration of European anchovy as a factor of formation of its spawning stock in the Sea of Azov // *Trudy VNIRO*. V. 197. P. 91-100. (In Russ.).
- Panov B.N., Spiridonova E.O., Kochergin A.T.* 2024b. The relationship between the variability of atmospheric circulation characteristics in the Azov-Black Sea region and the indices of the main modes of large-scale atmospheric circulation in the Atlantic-Eurasian sector // *Meteorology and Hydrology*. No. 10. P. 27-37. (In Russ.).
- Pyatinsky M.M., Shlyakhov V.A., Shlyakhova O.V.* 2020. Dynamics of sprat reserves in the Black Sea and prospects for its development // *Questions of fisheries*. V. 21. No. 4. P. 396-410. (In Russ.).
- Shlyakhov V.A., Negoda S.A., Pyatinsky M.M., Shlyakhova O.V.* 2023. Assessment of the state of anchovy and sprat stocks in the Russian waters of the Black Sea in 2022-2023 // *Trudy AzNIIRH*. V. 4. pp. 9-26. (In Russ.).

*Поступила в редакцию 12.12.2025 г.
Принята после рецензий 29.12.2025 г.*



УДК 551.5:597.552.511

Среда обитания водных биологических ресурсов

Особенности гидрометеорологических условий над Дальним Востоком в годы высокого и низкого возврата амурской горбуши чётной генерации

Т.А. Шатилина¹, Г.Ш. Цициашвили², М.А. Осипова^{2,3}, Т.В. Радченкова²

¹ Тихоокеанский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), пер. Шевченко, 4, г. Владивосток, 690091

² Институт прикладной математики ДВО РАН (ФГБНУ «ИПМ ДВО РАН»), ул. Радио 7, г. Владивосток, 690041

³ Дальневосточный федеральный университет (ФГАОУ ВО «ДФУ»), о. Русский, п. Аякс, 10, Владивосток, 690022,

SPIN-код: Шатилина Т.А. – 8296-4906; Цициашвили Г.Ш. – 8626-5781; Осипова М.А. – 6110-492; Радченкова Т.В. – 7541-9790

Цель работы: оценить климатические факторы, влияющие на динамику вылова амурской горбуши, и определить механизмы этого влияния в периоды высокого и низкого возврата горбуши в Амурский лиман. **Материал исследования:** данные уловов горбуши амурского лимана, данные наблюдений за температурой воды электронной базы ЕСИМО, данные о температуре воздуха и осадках на прибрежных ГМС были получены из архивов ВНИИГМИ МЦД и архивы реанализа (NCEP/NCAR Reanalysis Monthly Means and Other Derived Variables) атмосферного давления P_0 , геопотенциала H_{500} . **Используемые методы:** для выявления критических уровней уловов лососей применён алгоритм интервального распознавания, ранее разработанный коллективом авторов и показавший свою результативность в решении задач рыбного хозяйства. **Результаты:** возможность определения за два года будут ли благоприятными или нет условия выживания горбуши в инкубационный период, а также прогноз за год благоприятных условий для выживания горбуши на основе оценки температуры воды в период ската, которая зависит от особенностей атмосферной циркуляции.

Ключевые слова: горбуша *Oncorhynchus gorbuscha*, Амурский лиман, аномалии температуры воды, воздуха и осадков, коэффициент интервального распознавания.

Features of hydrometeorological conditions over the Far East during the years of high and low runs of Amur pink salmon of even-numbered generation

Tatiana A. Shatilina¹, Guram Sh. Tsitsiashvili², Marina A. Osipova^{2,3}, Tatiana V. Radchenkova²

¹ Pacific branch of VNIRO («TINRO»), 4, per. Shevchenko, Vladivostok, 690091, Russia

² Institute of applied mathematics FEB RAS («IAM FEB RAS»), 7, Radio str., Vladivostok, 690041, Russia

³ Far Eastern Federal University («FEFU»), 10, Ajax vil., Russian Island, Vladivostok, 690022, Russia

SPIN-код: Т.А. Шатилина–8296-4906; Г.Ш. Цициашвили–8626-5781; М.А. Осипова–6110-492; Т.В. Радченкова–7541-9790

Purpose: assessment of climatic factors influencing the dynamics of Amur pink salmon catch and determination of the mechanisms of this influence during periods of high and low salmon runs to the Amur estuary. **Research Material:** salmon catch data from the Amur estuary, water temperature observations from the ESIMO electronic database, air temperature and precipitation data on coastal GMS were obtained from the archives of the VNIIGMI MDC and the archives of the Reanalysis (NCEP/NCAR Reanalysis Monthly Mean and Other Derived Variables) of atmospheric pressure P_0 , geopotential H_{500} . **Methods used:** to identify critical levels of salmon catches, an interval recognition algorithm was used, previously developed by a team of authors and demonstrated its effectiveness in solving fisheries problems. **Results:** the possibility of determining in two years whether the conditions for the survival of pink salmon during the incubation period will be favorable or not, as well as a forecast for a year of favorable conditions for the survival of pink salmon based on an estimate of the water temperature during the slope, which depends on the characteristics of atmospheric circulation.

Keywords: pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha*, Amur estuary, temperature anomalies of water, air and precipitation, interval recognition coefficient.

ВВЕДЕНИЕ

С середины прошлого столетия началось неуклонное снижение уловов амурской горбуши (*Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1792)), вызванное истощением запасов. Суммарный вылов данного вида на Амуре во второй половине прошлого столетия по

сравнению с первой половиной снизился почти в 2 раза. В период истощения запасов лососей особую актуальность приобретают исследования влияния климата на их воспроизводство [Леванидов, 1969].

Помимо естественных факторов, лимитирующих численность амурских лососей, существуют и антропогенные факторы, главным образом – промысел. До

80-х годов 20-го столетия упадок промысла осенней кеты и горбуши в бассейне Амура специалистами связывался со снижением запасов, вызванным японским морским промыслом на путях миграций. В работе [Горяинов и др., 2006], кроме антропогенного воздействия на снижение запасов амурской горбуши показана также роль климатических изменений.

Одним из наиболее критических периодов жизненного цикла тихоокеанских лососей является речной, на который приходятся самые ранние этапы развития. При этом подавляющее число факторов, лимитирующих численность развивающейся икры, личинок и молоди так или иначе связаны с проявлениями климата. Колебания климата, определяющие изменения гидрологических условий, влияют на естественное воспроизводство как путём прямой элиминации на самых ранних этапах, так и косвенно – ускоряя или замедляя темпы её развития и роста на последующих, более поздних этапах.

Влияние климата на динамику вылова горбуши описывалось в работах [Смирнов, 1947; Лапин, 1971; Енютин, 1972; Островский, 2014, 2018, 2023; Рослый, 1975, 2002; Карпова и др., 2008; Колпаков и др. 2019; Горяинов и др. 2003, 2006; Островский и др., 2023]. Ю.Е. Лапин [1971] отмечает, что горбуша представляет исключительный интерес не только по своему хозяйственному значению, но и благодаря характерным особенностям своей биологии. Из всех тихоокеанских лососей горбуша отличается самым коротким жизненным циклом, наиболее быстрым ростом и созреванием. Подобно другим видам лососей после нереста горбуша погибает. Её уловы также, как и запасы, сильно колеблются, а в некоторых районах ареала довольно чётко выражена двухлетняя периодичность этих колебаний. Так, например, в бассейне р. Амур уловы в чётные годы долгое время превышали уловы нечётных лет. Эта особенность динамики численности горбуши получила наименование доминирования линии поколений или доминанты.

Промыслово-биологический очерк по амурской горбуше был сделан Р.И. Енужиной [1972]. Она отмечает, что рунный ход горбуши в лимане Амура происходит при температуре воды в среднем 15-18 °С. Нерест горбуши начинается во второй или в начале третьей декады июля и продолжается до конца сентября.

Наиболее критическими являются период эмбриогенеза и период перехода в прибрежные морские воды. Из предыдущих работ [Великанов и др., 2017; Шатилина и др., 2018] следует, что в годы экстремумов более наглядно выявляются механизмы влияния климата на динамику вылова горбуши.

Основной идеей работы является то, что высокие и низкие уловы горбуши Амурского лимана обусловлены экстремальными условиями атмосферной циркуляции, когда над Амурским лиманом располагаются области с аномальными значениями климатических параметров (приземного давления, температуры воздуха, геопотенциала). Чтобы обнаружить в какие месяцы года над лиманом наблюдаются эти особые климатические условия, был использован метод интервального распознавания, который позволяет выявить особенности барических полей, обуславливающих благоприятные или неблагоприятные условия для жизненных циклов горбуши Амурского лимана.

Целью работы является оценка климатических факторов, влияющих на динамику вылова амурской горбуши и выявление механизмов этого влияния в периоды высокого и низкого возврата горбуши в Амурский лиман.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Данные уловов горбуши амурского лимана с 1950 по 2022 гг. предоставлены В.И. Островским (Хабаровский филиал ВНИРО). Использовались данные наблюдений за температурой воды электронной базы ЕСИМО¹, ВНИИГМИ-МЦД² на гидрометеорологических станциях (ГМС) Пронге, Джаоре, Лазарев, Погиби за период 1977-2022 гг. (рис. 1).

Для оценки изменчивости термического режима в Амурском лимане рассчитывались аномалии температуры воды по ГМС Пронге, Джаоре, Лазарев и Погиби относительно базового периода 1991-2020 гг. Данные о температуре воздуха и осадках на прибрежных ГМС были получены из архивов ВНИИГМИ МЦД за период 1950-2023 гг.

Для оценки изменчивости атмосферной циркуляции рассчитывались аномалии приземного давления и геопотенциала H_{500} в центрах действия атмосферы (ЦДА). Основными данными послужили архивы реанализа (NCEP/NCAR Reanalysis Monthly Means and Other Derived Variables) атмосферного давления P_0 , геопотенциала H_{500} в узлах регулярной сетки $2,5 \times 2,5^\circ$ за период с 1950 по 2022 гг.

В настоящей работе для распознавания критических уровней уловов амурской горбуши использовался оригинальный алгоритм интервального распознавания, опубликованный в работах [Шатилина и др., 2006; Svyatukha et al., 2003]. В качестве признаков для распознавания экстремальных уловов были взяты ежемесячные данные H_{500} , P_0 и T_a в узлах 5-градусной

¹ <http://portal.esimo.ru/portal/>

² <http://meteo.ru>

сетки для трёх районов: южного (30-40° с.ш., 120-160° в.д.), умеренного (45-55° с.ш., 120-160° в.д.) и северного (60-70° с.ш., 120-160° в.д.). Метод интервального распознавания отчасти напоминает метод планирования экспериментов [Налимов, 1971], которые проводятся при минимальных и максимальных значениях отдельных факторов.

В период с 1950 по 2022 гг. выбирались года с аномально большими уловами (1958, 2012, 2014, 2016 гг.), и для каждого месяца находились минимальные и максимальные значения метеорологических характеристик H_{500} , P_0 и T_a . Для остальных лет рассматриваемого периода проверялось попадают ли значения всех параметров (H_{500} , P_0 и T_a) в построенные интервалы (неправильно распознанные выловы) или нет (правильно распознанные выловы). Алгоритм решения строится так, что все экстремальные выловы распознавались правильно, а остальные выловы могут распознаваться как правильно, так и неправильно. Аналогично распознавались и аномально малые уловы (года с такими уловами – 1954, 1970, 1972, 1994, 2022 гг.). Коэффициент распознавания – это отношение фактического количества правильно распознаваемых выловов к общему количеству выловов.

Если коэффициент распознавания для больших уловов высокий (не меньше 0,8), то в этом месяце формируются условия благоприятные для выживания горбуши. Если же коэффициент распознавания высокий для экстремально малых уловов, это означает формирование неблагоприятных условий выживания. На основании этого были построены синоптические карты метеорологических условий, способствующих высокой и низкой численности горбуши.

Задача распознавания экстремальных выловов по метеорологическим данным рассматривает короткие (не более 30 лет) и неоднородные временные ряды. Поэтому её, с одной стороны, можно отнести к задаче о редких событиях. С другой стороны, массив обрабатываемых значений метеорологических признаков велик (порядка 40 и более), т. е. мы имеем дело с большими данными. Причём, при увеличении числа метеорологических признаков качество распознавания только возрастает.

Вычислительная сложность используемого алгоритма интервального распознавания зависит линейно от числа уловов и от объёма выборки по каждой метеорологической характеристике. Это делает алгоритм достаточно быстрым в отличие от разложения по ортогональным функциям.

Интерес авторов вызвало применение метода интервальной математики к обработке данных климатических параметров (H_{500} , P_0 и T_a) за год или два до

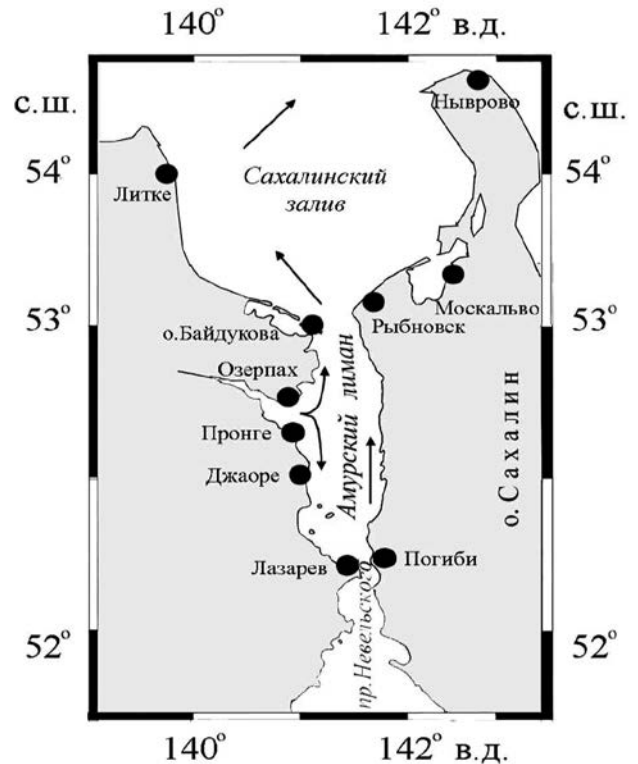


Рис. 1. Схема расположения станций и течений в Амурском лимане

Fig. 1. The layout of stations and currents in the Amur estuary

года с экстремальными выловами. Такое исследование позволяет выявить месяцы, благоприятные (для экстремально больших уловов) и неблагоприятные (для экстремально малых уловов) для ската и периода инкубации горбуши.

Для выявления экстремальных климатических условий рассчитывались значимые аномалии для всех используемых параметров (H_{500} , P_0 , R , T_a) по формуле, опубликованной в работе [Спичкин, 1987]. Критерием крупной/значимой аномалии является значение $1,2\sigma$, где σ – стандартное отклонение. В настоящей работе для исследования изменчивости термических условий по наблюдениям за температурой воды $T(t)$, $t=1, \dots, n$, построена оценка коэффициента a уравнения линейного тренда $T=at+b$, минимизирующая функцию (остаточная изменчивость временного ряда):

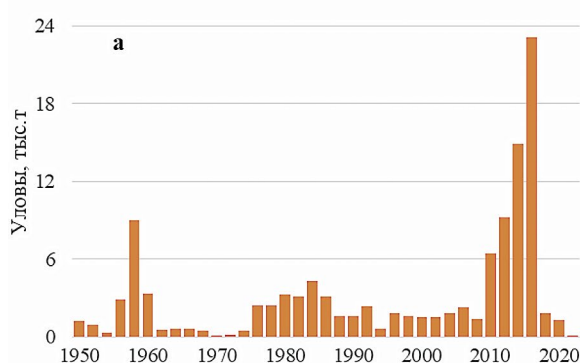
$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T(t) - (at+b))^2}$$

Проверена гипотеза о равенстве/неравенстве нулю коэффициента линейного тренда a с помощью критерия Стьюдента по величине a/s . Тренд считался значимым, если отношение a/s не меньше 0,04 при заданном уровне значимости 0,95 и при условии нормального распределения исходных данных [Шатилина и др., 2016].

Динамика уловов горбуши в 1950-2022 гг.

Российский лососевый промысел в бассейне Амура с начала прошлого столетия осуществляется на традиционных участках, при примерно постоянном рыболовном усилии. Динамика отечественных уловов амурских лососей представлена на рис. 2.

В четные годы высокие уловы горбуши были в 1958, 2012, 2014, 2016 гг., а в нечётные годы – в 1983, 1985, 2009, 2011 гг. В данной работе анализируется влияние климатических факторов на процесс воспроизводства горбуши чётного поколения (рис. 2 а).



В декабре выделяются несколько лет с экстремально высокими аномалиями H_{500} над областью тропосферной ложбины: 1961, 1979, 1980, 1989, 1990, 2010 и 2013 гг., и экстремально низкими аномалиями: 1969, 1970, 1978, 2002, 2003 и 2020 гг. (рис. 3а). Видно, что частота крупных положительных аномалий над Охотским морем увеличивается после 1980 г. Увеличение частоты появления крупных аномалий над областью дальневосточной ложбины свидетельствует о её ослаблении. В январе максимальные значения аномалий H_{500} были в 1950, 1963, 1974, 1984, 1991, 1997, 2000, 2002, 2009 и 2015 гг., а минимальные зна-

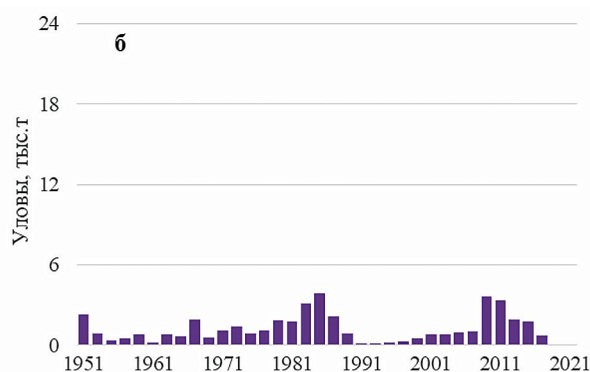


Рис. 2. Вылов горбуши в Амурском лимане в чётные (а) и нечётные (б) годы

Fig. 2. Pink salmon fishing in the Amur Estuary in even-numbered (a) and odd-numbered years (b)

Отметим, что в зимний сезон Амурский лиман и река Амур находятся под воздействием холодных воздушных масс зимнего муссона. В весенний и летний периоды под воздействием тёплых воздушных масс летнего муссона. Интенсивность зимнего и летнего муссона оценивается в работе по динамике интегральных характеристик в центрах действия атмосферы.

Изменчивость интегральных характеристик в центрах действия атмосферы у восточного побережья Азии в 1950-2022 гг.

В зимний период основными центрами действия атмосферы у Восточного побережья Азии являются сибирский антициклон и алеутская депрессия. В средней тропосфере в зимний период над Дальним Востоком расположена дальневосточная тропосферная ложбина (ТЛ), большая часть которой располагается над Охотским морем, а в северо-западной части моря часто располагается тропосферный циклон (ОТЦ).

Интенсивность ТЛ определяется по данным аномалий геопотенциала H_{500} над Охотским морем. Динамика аномалий геопотенциала H_{500} в декабре и январе, а также аномалии температуры воздуха и осадков на ГМС Николаевск-на-Амуре в 1950-2023 гг. представлены на рис. 3.

чения аномалий H_{500} (ТЛ усиливалась) отмечались в 1967, 1969, 1978, 1979, 1988, 2008, 2014 гг. (рис. 3 б). Интенсивность ТЛ обуславливает изменчивость температуры воздуха и осадков над Амурским лиманом.

Крупные положительные аномалии температуры воздуха (более 4 °C) в декабре отмечались в 1961, 1980, 1990, 2013 и 2015 гг., а в январе – в 1991, 1997 гг. А отрицательные аномалии температуры воздуха (до минус 6 °C) в декабре в 1952, 1964, 1965, 1969, 1974 и 2000 гг., в январе – в 1952, 1955, 1959, 1969, 1985, 1987 и 1994 гг. (рис. 3 в, г).

Максимальные осадки (аномалии более 40 мм), (рис. 3 д, е) отмечались в декабре в 1956, 1980, 2009, 2012, 2014 и 2021 гг., а дефицит (от минус 40 мм) осадков – в 1952, 1953, 1968, 1969, 1970, 2006, 2016 гг. (рис. 3 д). Максимальные осадки в январе отмечались в 1975, 1991, 2002, 2005 и 2012 гг., а дефицит осадков – в 1955, 1959, 1965, 1972, 1973, 1987, 1990, 1992 и 2007 гг. (рис. 3 е).

Особенности атмосферной циркуляции в региональных ЦДА в тёплый период

На рис. 4 представлена изменчивость циркуляции в ЦДА в июле 1950-2022 гг., когда наблюдается летний муссон.

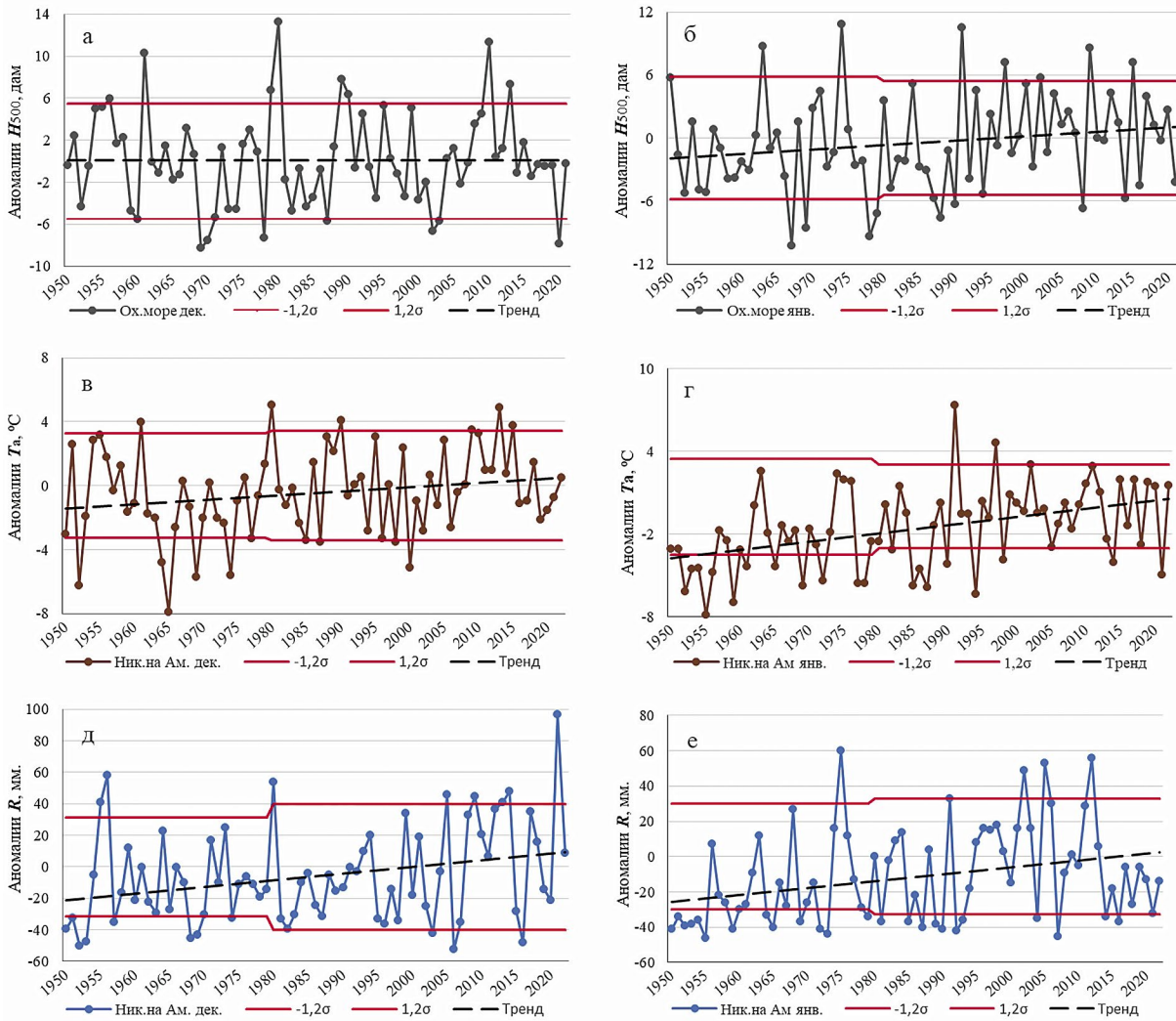


Рис. 3. Аномалии геопотенциала H_{500} над Охотским морем в декабре (а), январе (б), аномалии температуры воздуха T_a в декабре (в) и январе (г) и осадков R на ГМС Николаевск-на-Амуре в декабре (д) и январе (е) в 1950-2023 гг. Красным цветом выделены границы крупных аномалий в области ТЛ

Fig. 3. Anomalies of the H_{500} geopotential over the Sea of Okhotsk in December (a), January (b), air temperature anomalies T_a in December (c) and January (d), and precipitation R at the Nikolaevsk-on-Amur HMS in December (e) and January (f) in 1950-2023. The boundaries of large anomalies in the tropospheric hollow area are highlighted in red

В результате анализа многолетнего хода средне-месячных аномалий приземного давления и высоты изобарической поверхности 500 гПа выявлено, что в тёплый период года (период наибольшей активности указанных центров) после 1979-1980 гг. наблюдалось повышение давления в области азиатской депрессии (рис. 4 а). В области отрога гавайского антициклона в тёплый период года давление повышалось, особенно это заметно в средней тропосфере в июле (рис. 4 б).

Для количественной оценки состояния тропосферной депрессии (ТД) над Охотским морем в летний период рассматривались среднемесячные значения аномалий геопотенциальной высоты H_{500} . Наблюдается тенденция роста H_{500} , что свидетельствует об

ослаблении тропосферной депрессии над Охотским морем (рис. 4в). Охотский антициклон был особенно развит в 80-х годах прошлого столетия. В июле можно выделить его ослабление с 2004 г.

Оценка изменчивости термических условий в Амурском лимане по данным ГМС

В табл. 1 представлены оценки тренда (a/s) и остаточной изменчивости (s) для ряда аномалий температуры воды на всех ГМС Амурского лимана в 1977-2021 гг.

На ГМС Погиби значимый тренд отмечается в сентябре и октябре, на ГМС Лазарев отмечается отрицательный тренд в июне, положительные значения были с июля по ноябрь.

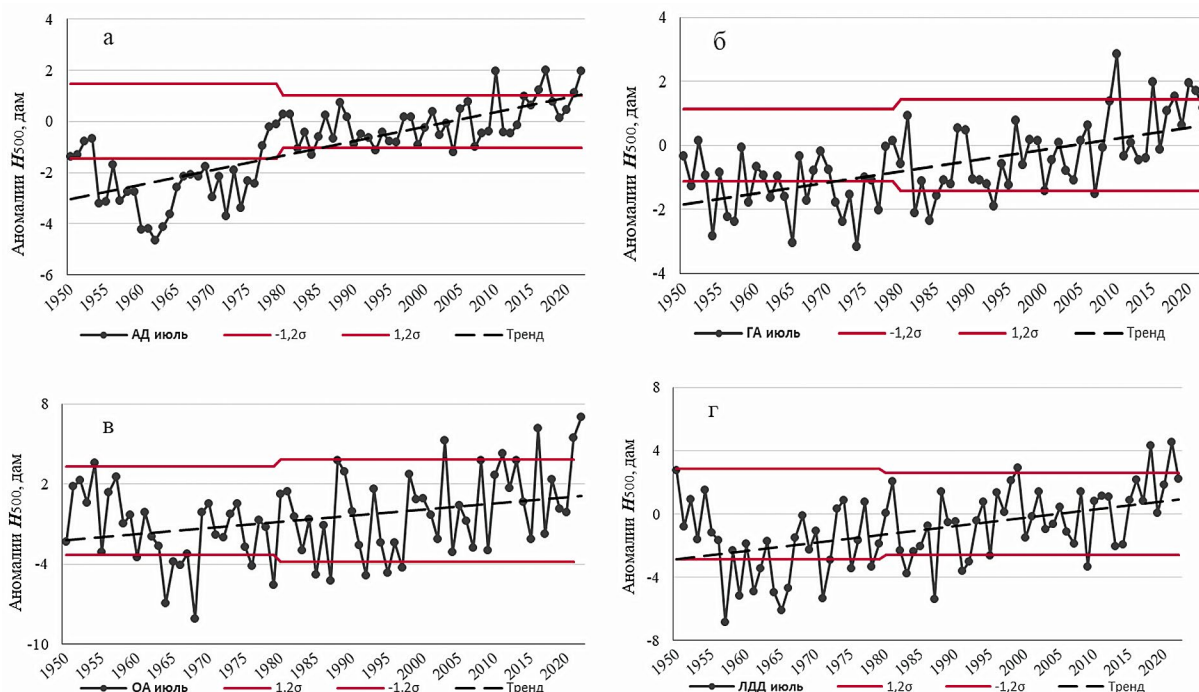


Рис. 4. Аномалии геопотенциала H_{500} над областью азиатской депрессии (а), гавайским антициклоном (б), Охотским морем (в) и летней дальневосточной депрессией (г) в июле 1950–2022 гг. Красным цветом показаны границы крупных аномалий
Fig. 4. Anomalies of the H_{500} geopotential over the Asian depression (a), the Hawaiian anticyclone (b), the Sea of Okhotsk (c), and the summer Far Eastern depression (d) in July 1950–2022. The borders of large anomalies are shown in red

Таблица 1. Оценка тренда (a/s) и остаточной изменчивости (s) аномалий температуры воды в прибрежных водах Амурского лимана в 1977–2021 гг.

Table 1. Assessment of the trend (a/s) and residual variability (s) of water temperature anomalies in the coastal waters of the Amur Estuary in 1977–2021

Месяцы	Погиби		Лазарев		Пронге		Джаоре	
	s	a/s	s	a/s	s	a/s	s	a/s
май	1,2	0,03	1,3	0,01	1,4	0,02	1,5	0,02
июнь	1,4	0,0	1,3	-0,04	1,2	0,01	1,5	-0,01
июль	1,0	0,02	0,9	0,05	1,0	0,02	3,0	0,01
август	1,1	0,02	1,1	0,04	1,0	0,02	1,2	0,01
сентябрь	0,9	0,05	0,9	0,1	1,0	0,05	2,4	0,0
октябрь	0,9	0,05	1,0	0,1	1,0	0,04	0,9	0,04
ноябрь	0,3	0,02	0,5	0,06	0,3	0,02	0,2	0,03

На рис. 5 представлен межгодовой ход аномалий температуры воды на ГМС Амурского лимана.

На ГМС Пронге крупные положительные аномалии температуры воды в мае отмечались в 1990, 2002, 2012 гг., а отрицательные – в 1980, 1987 и 1994 гг. (рис. 5 а). На ГМС Джаоре крупные положительные аномалии в мае наблюдались в 1990, 2002, 2009, 2012 и 2014 гг., а отрицательные – 1980, 1994 и 2010 гг. (рис. 5 в). На ГМС Лазарев положительные аномалии

наблюдались в 1981, 1990, 2002 и 2019 гг., а минимальные – 1980 и 1982 гг. (рис. 5 д). На ГМС Погиби крупные положительные аномалии отмечались в 2002 и 2012 гг., а отрицательные – 1977, 1987 и 1994 гг. (рис. 5 ж). Крупные положительные аномалии в мае 2012 и 2014 гг. совпадали с максимальными уловами амурской горбуши, а отрицательные – с минимальными уловами. Максимальные значения аномалий температуры воды в июне на ГМС Пронге отмечались в 2010, 2012 гг., а минимальные – в 1991, 1993, 2020 гг. (рис. 5 б). На ГМС Джаоре максимальные значения были в 1989 и 2012 гг., а минимальные – в 1993, 1994, 1999 и 2020 гг. (рис. 5 г). На ГМС Лазарев максимальные аномалии отмечались в 1996, 1998 и 2002 гг., а минимум был – в 2008, 2015, 2020 и 2021 гг. (рис. 5 е). На ГМС Погиби крупные аномалии температуры воды были в 1988, 1989, 1997 и 2012 гг., а крупное понижение температуры воды на этой станции отмечалось в 1987, 2004, 2005 и 2006 гг. (рис. 5 з).

Оценка влияния гидрометеорологических условий на динамику вылова горбуши Амурского лимана.

Для определения взаимосвязи температуры воздуха, воды и осадков с заблаговременностью два года на уловы амурской горбуши в чётные годы

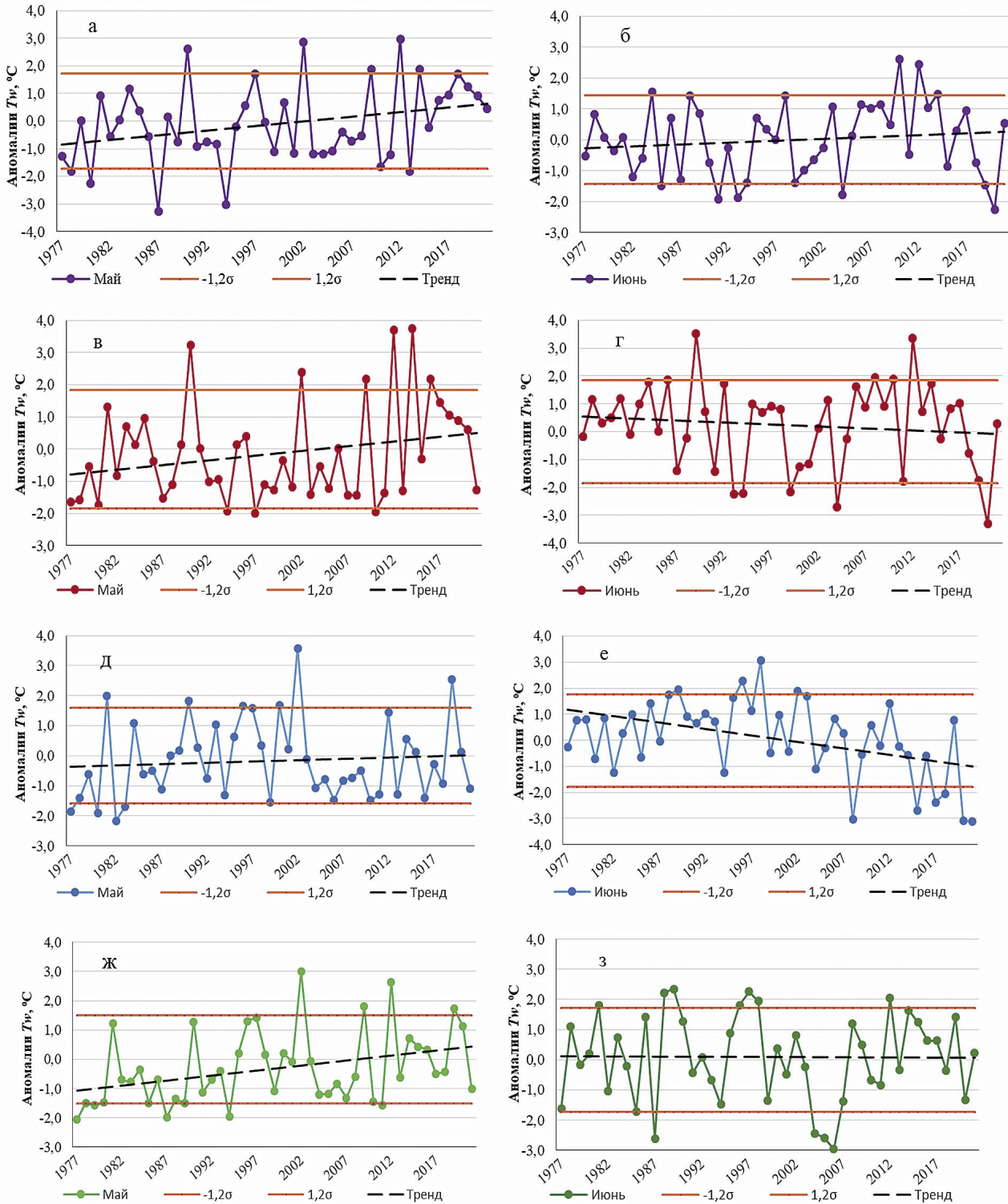


Рис. 5. Межгодовая изменчивость аномалий температуры воды в 1977-2021 гг. на ГМС Пронге в мае (а), в июне (б), Джаоре в мае (в), в июне (г), Лазарев в мае (д), в июне (е), Погиби в мае (ж), в июне (з). Красным цветом выделены границы крупных аномалий

Fig. 5. Intra-annual variations in water temperature anomalies in 1977-2021 at the Pronge HMS in May (a), in June (b), Jaore in May (c), in June (d), Lazarev in May (e), in June (f), and Perished in May (g), in June (h). The borders of large anomalies are highlighted in red

рассчитан коэффициент корреляции на ГМС Пронге и Николаевск-на-Амуре.

Таблица 2. Коэффициенты корреляции уловов горбуши Амурского лимана чётной линии с аномалиями температуры воздуха и осадков на ГМС Николаевск-на-Амуре и с аномалиями температуры воды на ГМС Пронге

Table 2. Coefficients correlation of catches of pink salmon from the Amur estuary of the even line with anomalies of air temperature and precipitation at the Nikolaevsk-on-Amur HMS and with anomalies of water temperature at the Pronge HMS

Месяцы	T_a	Осадки	Месяцы	T_w
Январь	-0,01	0,16	май	-0,07
Февраль	0,05	0,13	июнь	0,03
Март	0,07	0,26	июль	0,22
Декабрь	0,34	0,61	август	0,48

Связь с температурой воды на ГМС Пронге, расположенной в устье Амура, низкая. Самая высокая корреляция отмечается между уловами и осадками в декабре для горбуши чётной линии. Но в то же время эта связь достаточно низкая, чтобы использовать её для прогноза условий выживаемости амурской горбуши. Ещё ниже связь с температурой воздуха. Заметим, что низкие коэффициенты корреляции обуславливаются присутствием во временных рядах климатических параметров крупных аномалий (или выбросов).

Для определения особенностей гидрометеорологических условий в годы высокого и низкого воз-

врата амурской горбуши на всех этапах жизненного цикла применим метод интервального распознавания по данным геопотенциала H_{500} , приземного давления P_0 и температуры воздуха T_a над районами: южный район (30-40° с.ш.), умеренный район (40-50° с.ш.) и северный район (55-65° с.ш.). Эти районы расположены над центральным сектором северного полушария (120-160° в.д. 30-70° с.ш.) и данные H_{500} , P_0 и T_a отражают основные особенности в изменчивости региональных ЦДА, представленных на рис. 3 и 4.

В табл. 3-4 представлены коэффициенты интервального распознавания n для максимальных уловов в 1958, 2012, 2014, 2016 гг. чётного поколения (рис. 2а) амурской горбуши по данным геопотенциала H_{500} , приземного давления P_0 и приземной температуры воздуха T_a для южного, умеренного и северного района со сдвигом 2 года (нерест и инкубационный период) и со сдвигом 1 год (скат).

Видно, что наибольшие коэффициенты распознавания отмечаются в июле и декабре, т. е. наибольшее сходство имеют барические поля в период нереста и инкубации, что согласуется с общими представлениями о влиянии климата на воспроизводство горбуши Амурского лимана.

На основании данных интервального распознавания строим барические поля для жизненных циклов чётных поколений амурской горбуши в годы высоких уловов (рис. 6). В период нереста (сдвиг 2 года) наибольшие коэффициенты отмечались в июле, в инкубационный период – в декабре. В период ската молоди наибольшие коэффициенты были в июне.

Таблица 3. Коэффициенты интервального распознавания по данным H_{500} , P_0 и T_a для максимальных уловов амурской горбуши чётного поколения со сдвигом 2 года (нерест и инкубационный период)

Table 3. Interval recognition coefficients according to H_{500} , P_0 and T_a data for maximum catches of Amur pink salmon of the even-numbered generation with a 2-year shift (spawning and incubation period)

Месяцы	Южн.	Ум.	Сев.	Южн.	Ум.	Сев.	Южн.	Ум.	Сев.
	H_{500}			P_0			T_a		
Янв.	0,44	1,00	0,50	0,67	1,00	0,50	0,67	0,80	1,00
Фев.	0,44	0,33	0,31	1,00	0,36	0,31	1,00	1,00	1,00
Март	1,00	0,67	0,67	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	1,00
Апр.	0,80	0,31	0,80	0,36	0,29	0,44	0,67	0,67	0,44
Май	1,00	0,67	0,31	1,00	0,40	0,80	1,00	1,00	0,44
Июнь	0,80	1,00	0,50	0,40	0,80	0,50	1,00	1,00	1,00
Июль	1,00	1,00	1,00	1,00	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00
Авг.	0,36	0,80	0,80	0,50	0,67	0,67	1,00	1,00	0,80
Сен.	0,57	0,67	0,80	1,00	0,31	0,67	0,57	1,00	1,00
Окт.	0,80	1,00	0,57	1,00	0,57	0,50	1,00	1,00	0,67
Ноя.	0,67	1,00	0,80	0,57	0,67	0,40	0,80	1,00	1,00
Дек.	1,00	1,00	0,80	1,00	1,00	0,57	1,00	0,80	1,00

Таблица 4. Коэффициенты интервального распознавания по данным H_{500} , P_0 и T_a максимальных уловов амурской горбуши четного поколения со сдвигом 1 год (скат)

Table 4. Coefficients of interval recognition according to H_{500} , P_0 and T_a data of maximum catches of Amur pink salmon of the even-numbered generation with a 1-year shift (downstream migration)

Месяцы	Южн.	Ум.	Сев.	Южн.	Ум.	Сев.	Южн.	Ум.	Сев.
	H_{500}			P_0			T_a		
Янв.	0,50	0,67	0,50	0,80	1,00	0,40	1,00	0,80	1,00
Фев.	0,36	0,44	0,21	0,80	0,80	0,36	0,80	0,67	0,50
Март	0,24	0,36	0,80	0,44	0,57	0,18	0,80	0,67	0,67
Апр.	0,50	0,67	0,50	0,80	0,80	0,36	1,00	1,00	0,80
Май	0,57	0,57	0,27	1,00	0,67	0,50	0,67	1,00	0,57
Июнь	0,31	1,00	0,67	1,00	0,67	0,57	0,80	1,00	1,00
Июль	0,50	0,80	1,00	0,80	1,00	0,80	1,00	0,80	1,00

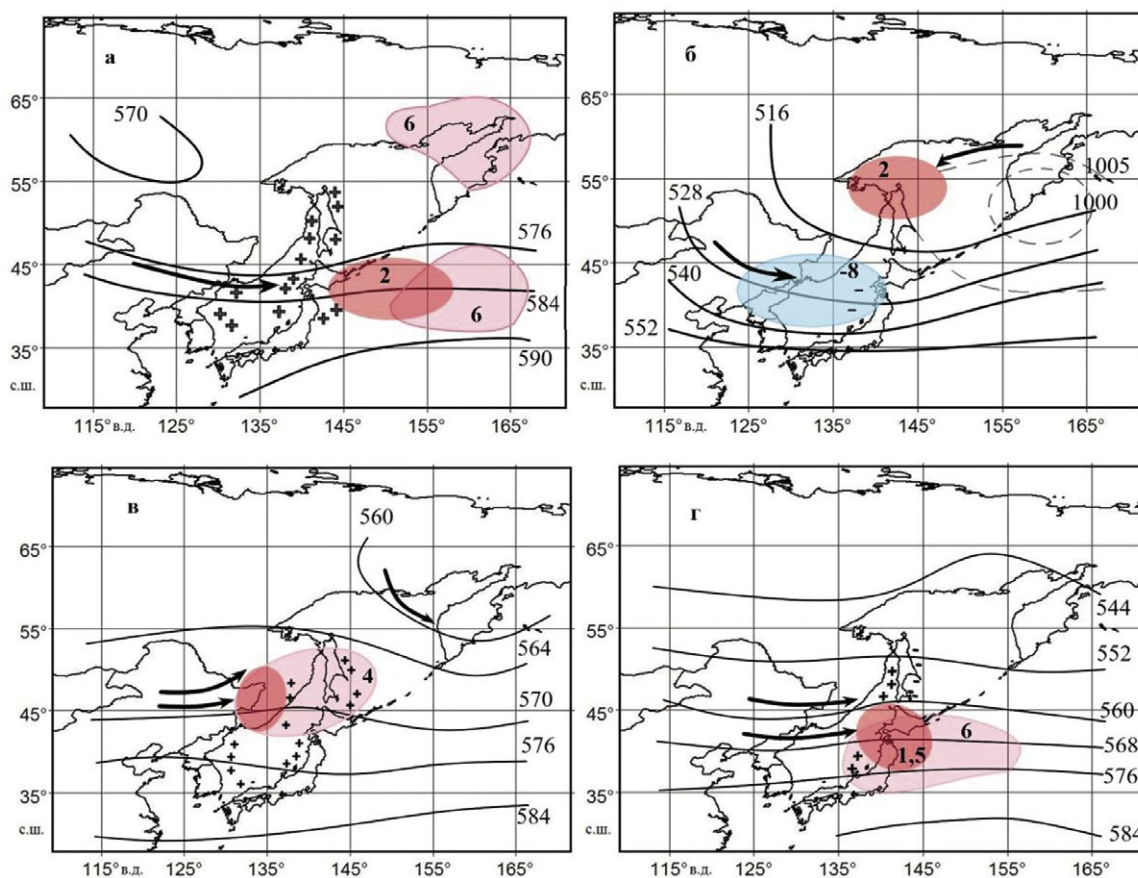


Рис. 6. Среднемесячная структура геопотенциала изобарической поверхности 500 гПа, положение экстремальных областей геопотенциала H_{500} , приземной температуры воздуха T_a и аномалий поверхностной температуры воды: а – июль 2010 (нерест), б – декабрь 2014 (инкубационный период), в – июнь 2013 (скат), г – май 2016 (анадромные миграции). Красным цветом выделена область с экстремально высокой температурой воздуха у поверхности земли, розовым – области крупных положительных аномалий H_{500} , голубым – области отрицательных аномалий H_{500} , плюсом выделены области с положительными значениями поверхностной температуры воды; пунктиром показаны изобары приземного давления, стрелками показано направление переноса воздушных масс

Fig. 6. The average monthly structure of the isobaric surface geopotential of 500 gPa, the position of extreme areas of the H_{500} geopotential, surface air temperature and surface water temperature anomalies: a – July 2010 (spawning), b – December 2014 (incubation period), c – June 2013 (slope), d – May 2016 (anadromous migrations). The area with extremely high air temperature near the earth's surface is highlighted in red, the areas of large positive anomalies of H_{500} are pink, the areas of negative anomalies of H_{500} are blue, the areas with positive values of surface water temperature are highlighted with a plus; the dotted line shows isobars of surface pressure, the arrows show the direction of air mass transfer.

Наблюдались положительные аномалии температуры воды в Татарском проливе, что обеспечивало миграцию горбуши через пролив Невельского (рис. 6 а). Положительные аномалии в области Цусимского течения составили в среднем 1,5 °С, т. е. это были крупные аномалии, усиливалось Цусимское течение, что обеспечивало миграцию горбуши через пролив Невельского.

Благоприятными условиями для горбуши был и инкубационный период, когда над районом наблюдался очаг с крупной аномалией температуры воздуха (рис. 6 б). Поступление тёплых воздушных масс отмечалось с циклонами, формирующимися в мористых районах СЗТО.

В период ската горбуши в северной части Татарского пролива наблюдались положительные значения аномалий температуры воды, в частности аномалии температуры воды в июне 2013 г. составляли на ГМС Пронге, Джаоре, Лазарев и Погиби соответственно: 1 °С, 0,7 °С, 0,2 °С, т. е. были в пределах нормы. В период анадромных миграций крупные аномалии отмечались на юге Японского моря и северной части Татарского уже в мае, они составили в области Цусимского течения 0,7 °С и 1,2 °С. Таким образом, в годы высоких уловов Амурской горбуши чётной линии наблюдались благоприятные атмосферные условия на всех этапах жизненного цикла горбуши Амурского лимана.

В табл. 5-6 представлены результаты интервального распознавания для минимальных уловов в 1954, 1970, 1972, 1994, 2022 гг. горбуши чётного поколения

со сдвигом 2 года (нерест и инкубационный период) и со сдвигом 1 год (скат).

Наибольшие коэффициенты распознавания в период миграции на нерест наблюдаются в июле по H_{500} для южного района, по P_0 – для умеренного и по T_a – для южного и умеренного районов. Большие n по всем районам отмечаются и в августе. В период инкубации наибольшие коэффициенты распознавания наблюдаются по H_{500} для северного района (где расположена ТЛ) и по T_a – для умеренного района (табл. 5).

Для минимальных уловов наибольший коэффициент распознавания по H_{500} отмечался в июне для северного района (над областью Амурского лимана), по P_0 для южного и умеренного района, а по данным T_a высокие коэффициенты были для всех районов (табл. 6). На основании полученных связей строим барические поля для жизненных циклов горбуши в годы низких уловов (рис. 7).

Видно, что при низких уловах нерест горбуши проходит в неблагоприятных метеорологических условиях, когда над Охотским морем наблюдается барическая ложбина, способствующая выносу холодных воздушных масс в район Амурского лимана (рис. 7 а, б). При неблагоприятных условиях ската молоди горбуши и анадромных миграциях также наблюдается вынос холодных воздушных масс на Амурский лиман (рис. 7 в, г).

На основании данных об изменчивости гидрометеорологических условий (рис. 3-4) определим аномалии этих факторов для жизненных циклов горбуши чётной линии в месяцы наибольших коэффициентов распознавания в 1996-2022 гг.

Таблица 5. Коэффициенты интервального распознавания по данным H_{500} , P_0 и T_a минимальных уловов амурской горбуши чётного поколения со сдвигом 2 года (нерест и инкубационный период)

Table 5. Interval recognition coefficients according to H_{500} , P_0 and T_a data for minimum catches of Amur pink salmon of the even-numbered generation with a 2-year shift (spawning and incubation period)

Месяцы	Южн.	Ум.	Сев.	Южн.	Ум.	Сев.	Южн.	Ум.	Сев.
	H_{500}			P_0			T_a		
Янв.	0,31	0,63	0,38	0,50	0,71	0,36	0,38	1,00	0,83
Фев.	0,33	0,45	0,45	0,50	0,63	0,31	0,50	0,56	0,50
Март	0,26	0,38	0,63	0,24	0,42	0,36	0,22	0,36	0,45
Апр.	0,71	1,00	0,71	0,45	0,63	0,63	1,00	1,00	0,71
Май	0,50	0,63	0,56	1,00	0,56	1,00	0,83	1,00	0,71
Июнь	0,63	0,83	0,45	0,56	0,38	0,63	0,83	1,00	1,00
Июль	1,00	0,56	0,50	0,63	1,00	0,83	1,00	1,00	0,50
Авг.	0,56	0,83	0,45	1,00	0,83	0,83	1,00	1,00	0,71
Сен.	0,83	0,63	1,00	0,83	0,63	1,00	0,83	0,63	0,71
Окт.	1,00	0,56	0,36	0,83	0,83	0,83	1,00	0,83	0,50
Ноя.	0,56	0,71	0,56	0,50	0,83	0,33	0,71	0,45	0,45
Дек.	0,83	0,38	1,00	0,63	0,36	0,71	0,63	1,00	0,63

Таблица 6. Коэффициенты интервального распознавания по данным H_{500} , P_0 и T_a минимальных уловов амурской горбуши четного поколения со сдвигом 1 год (скат)

Table 6. Coefficients of interval recognition according to H_{500} , P_0 and T_a data of minimum catches of Amur pink salmon of the even-numbered generation with a 1-year shift (downstream migration)

Месяцы	Южн.	Ум.	Сев.	Южн.	Ум.	Сев.	Южн.	Ум.	Сев.
	H_{500}			P_0			T_a		
Янв.	0,45	0,45	0,33	0,63	0,56	0,25	0,83	1,00	0,50
Фев.	0,63	0,33	0,33	0,38	0,23	0,17	0,71	0,63	0,45
Март	0,38	0,56	0,71	0,83	1,00	0,71	0,56	0,83	1,00
Апр.	0,45	0,26	0,31	0,71	0,71	0,21	1,00	1,00	0,83
Май	0,71	0,71	0,83	0,83	0,83	0,45	1,00	1,00	1,00
Июнь	0,63	0,71	1,00	0,83	0,83	0,42	0,83	0,83	0,83
Июль	0,71	0,56	0,83	0,83	0,63	1,00	0,71	0,71	0,71

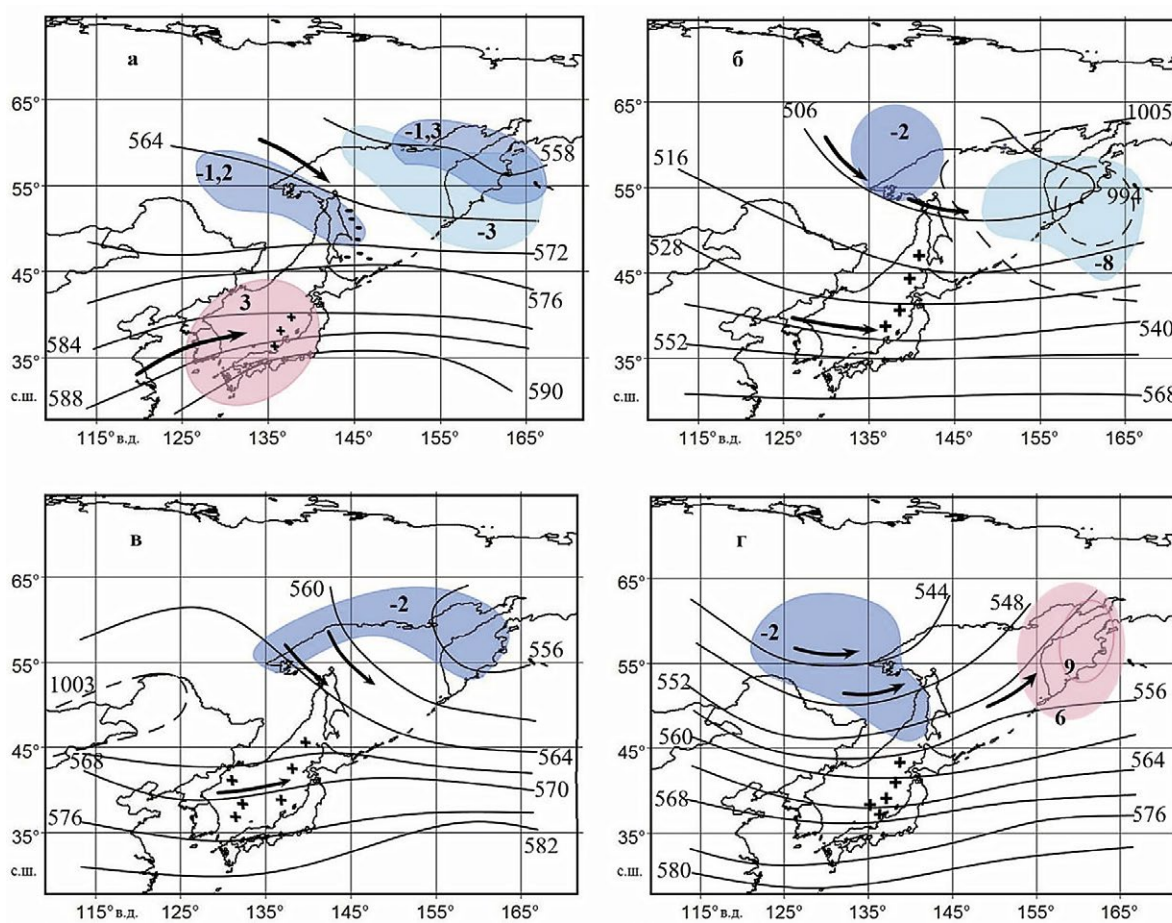


Рис. 7. Среднемесячная структура поля геопотенциала изобарической поверхности 500 гПа, положение экстремальных областей геопотенциала H_{500} , приземной температуры воздуха T_a и аномалий поверхностной температуры воды: а – август 2020 г., б – декабрь 2020 г., в – июнь 2021 г., г – май 2022 г. Синим цветом выделена область с низкой температурой воздуха у поверхности земли, розовым выделена область крупных положительных аномалий H_{500} , голубым – области отрицательных аномалий H_{500} , плюсом выделены области с положительными значениями поверхностной температуры воды, минусами отрицательными аномалиями, пунктиром показаны изобары приземного давления, стрелками – направление переноса воздушных масс

Fig. 7. The average monthly structure of the geopotential field of an isobaric surface of 500 gPa, the position of extreme areas of geopotential H_{500} , surface air temperature T_a and surface water temperature anomalies: a – August 2020, b – December 2020, c – June 2021, d – May 2022. An area with low air temperature near the earth's surface is highlighted in blue, an area of large positive anomalies of H_{500} is highlighted in pink, areas of negative anomalies of H_{500} are highlighted in blue, areas with positive values of surface water temperature are highlighted in plus, negative anomalies are highlighted, isobars of surface pressure are dotted, and the direction of air mass transfer is indicated by arrows.

Из табл. 7 видно, что для высокочисленных поколений чётной линии наблюдаются высокие осадки и положительные температуры воздуха, а для малочисленных – низкие значения. Такие условия определяются атмосферной циркуляцией. На основании анализа полученных данных можно составить формализованные схемы (рис. 8) благоприятных или неблагоприятных условий в период нерестовых миграций и инкубации, что важно для прогноза вылова горбуши с заблаговременностью 2 года.

При благоприятных условиях нереста в средней тропосфере отмечается зональный перенос тёплого воздуха, а у земли над Японским морем располагается западная периферия гавайского антициклона. Над Охотским морем тропосферная депрессия ослаблена (наблюдается повышение геопотенциала H_{500}) (рис. 8 а).

При благоприятных условиях инкубации тропосферная ложбина ослаблена, центр циклонической активности отмечается к юго-востоку от Камчатки,

Таблица 7. Аномалии температуры воды по данным ГМС Пронге, Джаоре, Татарском проливе и в области Цусимского течения, аномалии температуры воздуха и осадков на ГМС Николаевск-на Амуре для жизненных циклов горбуши четной линии Амурского лимана

Table 7. Anomalies of water temperature according to the data of the GMS Pronge, Dzhaore, Tatar Strait and in the area of the Tsushima current, anomalies of air temperature and precipitation on the GMS Nikolaevsk-on-Amur for the life cycles of pink salmon of the even line of the Amur Estuary

Год	Нерест июль			Инкубация декабрь			Скат						Анадромн. migr. июль		Улов		
	$\Delta T_w, ^\circ\text{C}$			ΔT_a ΔR			май			июнь			$\Delta T_w, ^\circ\text{C}$				
	1	2	3	4	4		1	2	3	1	2	3	3	5			
96	0,8	0,8	-0,8	-1	-36										-0,4	-2,4	Ср.
97							1,7		1,6	0,0	0,9	1,1					
98	1,5	1,5	0,8	-2,2	-24								1,2	-0,2			Ср.
99							-1,1	-1,5	-1,6	-1,4	-2,2	-0,5					
00	-0,6	-1,2	1,1	-3,4	-19								-0,9	0,6			Ср.
01							-1,2	-1,4	0,2	-0,6	-1,2	-0,4					
02	-1,1	-1,3	-1,1	-5,8	-25								-0,6	0,5			Ср.
03							-1,2	-1,6	-0,1	1,1	1,1	1,7					
04	-0,2	-0,5	-0,5	0,1	-3								-0,3	0,5			Ср.
05							-1,1	-1,5	-0,8	0,1	-0,3	-0,3					
06	0,1	-0,3	0,9	-1,6	-52								0,9	-1,3			крупн
07							-0,7	-1,7	-0,8	1,0	0,9	0,3					
08	0,4	0,6	0,6	1,9	32,8								1	0,3			мин.
09							1,9	1,9	-0,5	0,5	0,9	-0,5					
10	-0,5	-1,6	1,3	3	20,8								1,4	1,5			мак
11							-1,2	-1,6	-1,3	-0,5	-1,8	-0,2					
12	0,5	0,2	1,0	-0,2	36,8								-0,1	1,1			мак
13							-1,8	-1,5	-1,3	1,0	0,7	-0,2					
14	0,3	0,2	-0,5	2,5	47,8								-0,4	1,4			мак
15							-0,2	-0,6	0,1	-0,9	-0,3	-2,7					
16	0,8	0,8	0,3	-2,8	-48								-0,1	0,5			мак
17							0,9	1,2	-0,3	0,9	1,0	-2,4					
18	-0,1	-0,8	-1,3	1,7	15,8								0,3	1,3			мин.
19							1,2	0,6	2,5	-1,5	-1,7	0,8					
20	-0,7	-0,8	0,4	-0,8	-21								-1,6	0,2			мин.
21							0,4	-1,5	-1,1	0,5	0,3	-3,1					
22			1,5	0,8	8,8									2,3			мин.

Обозначения: 1 – Пронге, 2 – Джаоре, 3 – Татарский пролив, 4 – область Цусимского течения, 5 – Лазарев, НА – Николаевск-на-Амуре

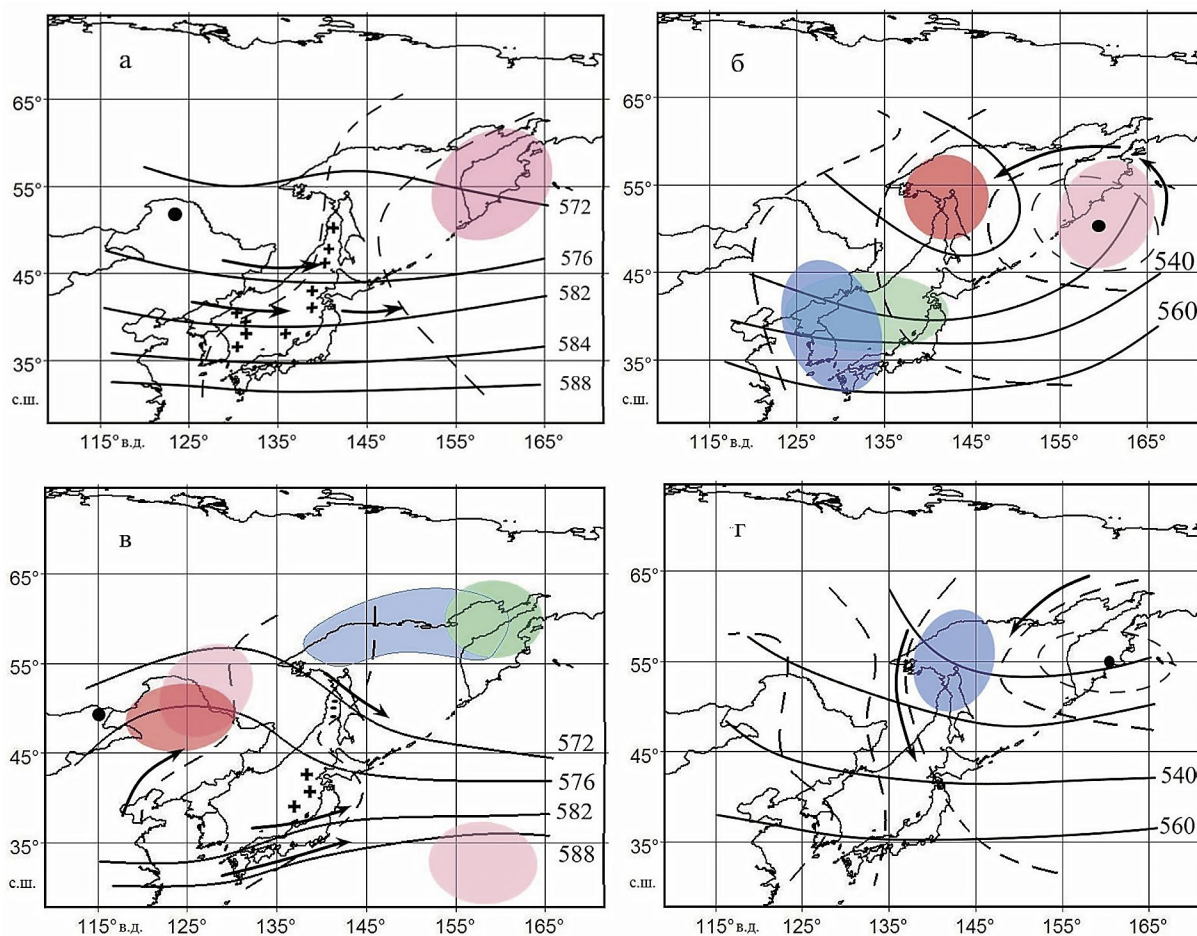


Рис. 8 Схема благоприятных условий нереста (а), инкубации (б) и неблагоприятных условий нереста (в), инкубации (г) икры над Амурским лиманом. Сплошными линиями обозначены изогипсы, пунктирными – изобары, тёмным кружочком центр низкого давления. Стрелками направление выноса воздушных масс. Плюсами – положительные аномалии температуры воды, минусами – отрицательные аномалии. Розовым цветом выделена область с экстремальными значениями геопотенциала H_{500} , а голубым – отрицательные значения. Красным цветом выделена область с наибольшими значениями приземной температуры воздуха, а синим – область с отрицательной температурой воздуха

Fig. 8. Scheme of favorable spawning conditions (а), incubation (б) and unfavorable spawning conditions (в), incubation (г) of caviar over the Amur estuary. Isogypses are indicated by solid lines, isobars by dotted lines, and the low-pressure center by a dark circle. Use the arrows to indicate the direction of air mass removal. The advantages are positive anomalies of water temperature, the disadvantages are negative anomalies. The area with the highest values of surface air temperature is highlighted in pink, and negative values are highlighted in blue. The area with the highest values of surface air temperature is highlighted in red, and the area with negative air temperature is highlighted in blue.

в передней части морских циклонов наблюдается восточный вынос тёплых воздушных масс на район Амурского лимана (рис. 8 б). При такой циркуляции воздушных масс создаются благоприятные условия в период инкубации.

При неблагоприятных условиях в период нерестовых миграций район Амурского лимана находится под воздействием холодных воздушных масс. Гребень высокого давления и центр приземных циклонов смещен на запад, поэтому тёплые воздушные массы не оказывают влияния на этот район. Он находится под воздействием депрессии над Охотским морем (рис. 8 в).

Неблагоприятные условия в период инкубации наблюдаются при усилении ТЛ над Охотским морем и выходе приземных циклонов на Камчатку. В тыловой части циклонов наблюдается адвекция холодного воздуха на район Амурского лимана (рис. 8 г). Эти условия способствуют вымерзанию нерестовых гнезд.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В зимний период частота крупных положительных аномалий геопотенциала H_{500} над областью тропосферной ложбины увеличивается после 1980 г., что свидетельствует об её ослаблении. Такие условия спо-

способствовали появлению над Амурским лиманом крупных положительных аномалий температуры воздуха.

В результате анализа многолетнего хода среднемесячных аномалий приземного давления и высоты изобарической поверхности 500гПа выявлено, что в тёплый период года (период наибольшей активности центров действия атмосферы) после 1980 гг. наблюдалось повышение давления в области азиатской депрессии и в области отрога гавайского антициклона.

На ГМС Пронге, расположенной в устье р. Амур, крупные положительные аномалии температуры воды в мае отмечались в 1990, 2002, 2012 гг., а в июне – в 2010, 2012 гг. Отрицательные аномалии на этой станции в мае были в 1980, 1987 и 1994 гг. а в июне – в 1991, 1993, 2020 гг. Крупные положительные аномалии совпадали с максимальными уловами амурской горбуши, а отрицательные – с минимальными уловами.

Коэффициенты корреляции между аномалиями температуры воздуха, осадками на ГМС Николаевск-на-Амуре, аномалиями температуры воды на ГМС Пронге и уловами горбуши чётной линии по всему ряду показали низкие значения. Низкие коэффициенты корреляции не позволяют выявить различие гидрометеорологических условий в годы высокоурожайных и низкоурожайных поколений амурской горбуши.

Применение метода интервального распознавания позволило выявить особенности взаимодействия атмосферы и океана при низких и высоких возвратах чётной и нечётной линии амурской горбуши и составить схемы благоприятных и неблагоприятных условий для выживания горбуши. За два года можно определить будут ли благоприятными или нет условия выживания горбуши в инкубационный период. Вымерзание нерестилищ наблюдается, когда над Амуром располагается экстремально холодная воздушная масса и низкие значения осадков. При поступлении тёплого воздуха и повышенных значений осадков над районами воспроизводства создаются благоприятные условия для выживания горбуши. Очень важным является также оценка температуры воды в период ската, которая зависит от особенностей атмосферной циркуляции. Нами такие особенности выявлены со сдвигом 1 год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из-за малых значений коэффициентов корреляции между уловами и климатическими параметрами не удастся выявить причинно-следственные связи между этими характеристиками. Поэтому на основе интервального распознавания в годы высоких и низких уловов были построены региональные модели взаимодействия атмосферы и океана в период нерестовых миграций и инкубации, которые выявляют та-

кие связи, на самом деле имеющие контрастный характер. По-видимому, на коэффициенты корреляции влияют не только экстремальные значения уловов, но и промежуточные, которые сильно «загрязняют» выборку. А поскольку данные связи обнаружены со сдвигом в два года, то они дают возможность оценить величину вылова через два года. В дальнейшем предполагается указанным методом оценить роль каждого из выделенных критических моментов в жизненном цикле горбуши на её уловы.

Благодарности

Авторы выражают огромную признательность Басюку Евгению Олеговичу, Островскому Владимиру Ивановичу, Цыпышевой Ирине Леонидовне за помощь в формировании данных климатических параметров и уловов горбуши, а также благодарны рецензентам.

Конфликт интересов

Авторы данной работы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Соблюдение этических норм

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания ИПМ ДВО РАН № 075-00460-26-00 и в рамках государственного задания Тихоокеанского филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО») № 123060700025-8.

ЛИТЕРАТУРА

- Великанов А.Я., Цициашвили Г.Ш., Шатилина Т.А., Радченко Т.В. 2017. Многолетняя динамика уловов горбуши восточного Сахалина и климатогидрологические факторы // Современные состояния и перспективы развития лососевого хозяйства на Дальнем Востоке России. Тез. докл. науч. конф. г. Южно-Сахалинск, 7-8 нояб. 2017 г. Южно-Сахалинск: СахНИРО. С. 28-29.
- Горяинов А.А., Шатилина Т.А. 2003. Динамика азиатской горбуши и климатические изменения над азиатско-тихоокеанским регионом в XX веке // Биология моря. Т. 29. № 6. С. 429-435.
- Горяинов А.А., Шатилина Т.А. 2003. Динамика уловов азиатской горбуши и макросиноптические процессы над Северным полушарием в XX в // Вестник ДВО РАН. № 1. С. 20-31.
- Горяинов А.А., Шатилина Т.А., Цициашвили Г.Ш., Радченко Т.В., Лысенко А.В. 2006. Климатические причины снижения запасов амурских лососей в 20-м столетии // ДВ Экспресс информация. Владивосток: Дальрыбтехника. № 6. С. 1-17.

- Енютина Р.И. 1972. Амурская горбуша (промыслово-биологический очерк) // Известия ТИНРО. Т. 77. С. 3-126.
- Карпова И.П., Шатилина Т.А., Горяинов А.А. 2008. Циклические изменения в полях атмосферного давления над Азией и Тихим океаном и в уловах амурских лососей // Вопросы промысловой океанологии. Вып. 5. № 1. С. 115-132.
- Колпаков Н.В., Коцюк Д.В. 2019. Кризисы рыболовства в бассейне реки Амур. Количественный анализ фонда рыбопромысловых участков // Бюллетень изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. № 14. С. 93-105.
- Лاپин Ю.Е. 1971. Закономерности динамики популяций рыб в связи с длительностью их жизненного цикла. М.: Наука. 176 с.
- Леванидов В.Я. 1969. Воспроизводство амурских лососей и кормовая база их молоди в притоках Амура // Известия ТИНРО. Т. 67. 242 с.
- Налимов В.В. 1971. Теория эксперимента. М.: Наука. 210 с.
- Островский В.И. 2014. Факторы, влияющие на численность покатной молоди тихоокеанских лососей // Чтения памяти В.Я. Леванидова. Владивосток: Дальнаука. Вып. 6. С. 501-508.
- Островский В.И., Коцюк Д.В., Колпаков Н.В. 2018. Итоги лососевой путины в Хабаровском крае в 2018 г. // Бюл. № 13 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. Владивосток: ТИНРО-центр. С. 88-93.
- Островский В.И. 2023. Причины изменчивости урожайности поколений амурской горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) // Известия ТИНРО. Т. 203. Вып. 2. С. 264-280. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-264-280.
- Островский В.И., Козлова Т.В. 2023. «Неблагодарная» горбуша. Случайность или закономерность // Бюл. № 17 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. Владивосток: ТИНРО. С. 152-158. DOI: 10.26428/losos_bull17-2023-152-158.
- Рослый Ю.С. 1975. Влияние условий пресноводного периода жизни амурских лососей на состояние их запасов. // Труды ВНИРО. Т. 106. С. 52-57.
- Рослый Ю.С. 2002. Динамика популяций и воспроизводство тихоокеанских лососей в бассейне Амура. Хабаровск: Хабаровское книжн. издательство. 210 с.
- Смирнов А.Г. 1947. Состояние запасов амурских лососей и причины их численных колебаний // Известия ТИНРО. Т. 25. С. 33-52.
- Спичкин В.А. 1987. Определение критерия крупной аномалии // Труды ААНИИ. Т. 402. С. 15-20.
- Шатилина Т.А., Великанов А.Я., Цициашвили Г.Ш., Радченкова Т.В. 2018. Аномальные гидрометеорологические условия в эстуарно-прибрежный период жизни горбуши Восточного Сахалина // Труды ВНИРО. Т. 173. С. 181-192.
- Шатилина Т.А., Цициашвили Г.Ш., Радченкова Т.В. 2006. Опыт использования метода интервального распознавания для прогноза экстремальной ледовитости Татарского пролива (Японское море) // Метеорология и гидрология, № 10, С. 65-72.
- Шатилина Т.А., Цициашвили Г.Ш., Радченкова Т.В. 2016. Оценка тенденций изменчивости центров действия атмосферы над Азиатско-Тихоокеанским регионом в летние периоды 1950-1979 и 1980-2012 гг. // Метеорология и гидрология. № 1. С. 17-28.
- Шатилина Т.А., Цициашвили Г.Ш., Радченкова Т.В. 2018. Режим охотского антициклона и климатические экстремумы в Курило-Хоккайдском регионе в летний период 1950-2017 гг. // Тез. Всерос. конф. «Гидрометеорология и экология: научные и образовательные достижения и перспективы развития». СПб.: Изд. РГГМУ. С. 491-494.
- Svyatukha V.A., Tsitsiashvili G.Sh., Shatilina T.A., Goryainov A.A. 2003. Intra-annual bundles of climatic parameters // Pacific Oceanography. Vladivostok: FERHRI. V. 1, № 2. P. 144-148.

REFERENCES

- Velikanov A.Ya., Tsitsiashvili G.Sh., Shatilina T.A., Radchenkova T.V. 2017. Long-term dynamics of salmon catches in Eastern Sakhalin and climatic and hydrological factors // Current conditions and prospects for the development of salmon farming in the Russian Far East. Thes. of the Scient. Conf. Yuzhno-Sakhalinsk, November 7-8, 2017 Yuzhno-Sakhalinsk: SakhNIRO. P. 28-29. (In Russ.)
- Goryainov A.A., Shatilina T.A. 2003. Dynamics of Asian pink salmon and climatic changes over the Asia-Pacific region in the twentieth century // Russ. J. Mar. Biol., V. 29. No. 6. P. 429-435. DOI 10.1023/B: RUMB.0000011707.83549.64 (In Russ.)
- Goryainov A.A., Shatilina T.A. 2003. Dynamics of Asian pink salmon catches and macrosynoptic processes over the Northern Hemisphere in the 20th century // Bull. of the Far Eastern Branch RAS. No. 1. pp. 20-31. (In Russ.)
- Goryainov A.A., Shatishina T.A., Tsitsiashvili G.Sh., Radchenkova T.V., Lysenko A.V. 2006. Climatic reasons for the decline of Amur salmon stocks in the 20th century // DV Express information. Vladivostok: Fishing equipment. No. 6. P. 1-17. (In Russ.)
- Enyutina R.I. 1972. Amur pink salmon (a commercial and biological essay) // Izvestiya TINRO. V. 77. P. 3-126. (In Russ.)
- Karpova I.P., Shatilina T.A., Goryainov A.A. 2008. Cyclic changes in atmospheric pressure fields over Asia and the Pacific Ocean and in catches of Amur salmon // Questions of commercial oceanology. Iss. 5. No. 1. P. 115-132. (In Russ.)
- Kolpakov N.V., Kotsyuk D.V. 2019. Fishing crises in the Amur River basin. Quantitative analysis of the fund of fishing grounds // Bull. of the Study of Pacific salmon in the Far East. No. 14. P. 93-105. (In Russ.)
- Lapin Yu.E. 1971. Patterns of dynamics of fish populations in connection with the duration of their life cycle. Moscow: Nauka. 176 p. (In Russ.)
- Levanidov V.Ya. 1969. Reproduction of Amur salmon and the food supply of their young in the Amur River tributaries // Izvestiya TINRO. V. 67. 242 p. (In Russ.)
- Nalimov V.V. 1971. Theory of experiment. Moscow: Nauka. 210 p. (In Russ.)

- Ostrovsky V.I.* 2014. Factors affecting the number of sloping young Pacific salmon // Readings in memory of V.Ya. Levanidov. Vladivostok: Dalnauka. Iss. 6. pp.501-508. (In Russ.)
- Ostrovsky V.I., Kotsyuk D.V., Kolpakov N.V.* 2018. The results of salmon fishing in the Khabarovsk Territory in 2018 // Bull. No. 13 of the study of Pacific salmon in the Far East. Vladivostok: TINRO-center. P. 88-93. (In Russ.)
- Ostrovsky V.I.* 2023. The reasons for the variability of crop yields of Amur pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) // Izvestiya TINRO. V. 203. Iss. 2. P. 264-280. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-264-280. (In Russ.)
- Ostrovsky V.I., Kozlova T.V.* 2023. «Ungrateful» pink salmon. Randomness or regularity // Bull. No. 17 of the study of Pacific salmon in the Far East. Vladivostok: TINRO Publish. P. 152-158. DOI: 10.26428/losos_bull17-2023-152-158. (In Russ.)
- Rosly Y.S.* 1975. The influence of freshwater conditions of Amur salmon on the state of their stocks. // Trudy VNIRO. V. 106. P. 52-57. (In Russ.)
- Rosly Y.S.* 2002. Population dynamics and reproduction of Pacific salmon in the Amur basin. Khabarovsk: Khabarovsk Publishing House. 210 p. (In Russ.)
- Smirnov A.G.* 1947. The state of Amur salmon stocks and the causes of their numerical fluctuations // Izvestiya TINRO. V. 25. P. 33-52. (In Russ.)
- Spichkin V.A.* 1987. Definition of a criterion of a large anomaly // Trudy AANII. V. 402. P. 15-20. (In Russ.)
- Shatilina T.A., Velikanov A.Ya., Tsitsiashvili G.Sh., Radchenkova T.V.* 2018. Abnormal hydrometeorological conditions in the estuarine-coastal period of life of the pink salmon of Eastern Sakhalin // Trudy VNIRO. V. 173. P. 181-192. (In Russ.)
- Shatilina T.A., Tsitsiashvili G.Sh., Radchenkova T.V.* 2006. Experience of using the interval recognition method to predict the extreme iciness of the Tatar Strait (Sea of Japan) // Meteorology and Hydrology. No. 10. P. 65-72. (In Russ.)
- Shatilina T.A., Tsitsiashvili G.Sh., Radchenkova T.V.* 2016. Assessment of trends in the variability of atmospheric action centers over the Asia-Pacific region in the summers of 1950-1979 and 1980-2012 // Meteorology and hydrology. № 1. P. 17-28. (In Russ.)
- Shatilina T.A., Tsitsiashvili G.Sh., Radchenkova T.V.* 2018. The regime of the Okhotsk anticyclone and climatic extremes in the Kuril-Hokkaido region in the summer of 1950-2017 // Abstr. of the All-Russ. Conf. «Hydrometeorology and Ecology: scientific and educational achievements and development prospects». Saint Petersburg: RSHU. P. 491-494. (In Russ.)
- Svyatukha V.A., Tsitsiashvili G.Sh., Shatilina T.A., Goryainov A.A.* 2003. Intra-annual bundles of climatic parameters // Pacific Oceanography. Vladivostok: FERHRI. V. 1, № 2. P. 144-148.

Поступила в редакцию 18.02.2025 г.
Принята после рецензии 18.11.2025 г.



УДК 664.951: 597.554.3

Технология переработки водных биоресурсов

Пищевая и биологическая ценность продукции из воблы

М.В. Сытова, Н.Ю. Терпугова

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»), Окружной проезд, 19, Москва, 105187
E-mail: m_sitova@vniro.ru

SPIN-код: М.В. Сытова – 1439-0116; Н.Ю. Терпугова – 5485-9250

Цель работы: оценка показателей качества продукции из воблы (*Rutilus rutilus caspicus*) для установления пищевой и биологической ценности.

Используемые методы: аналитические методы исследования в области обеспечения качества, пищевой и биологической ценности продукции из гидробионтов в международных и российских базах данных. Физико-химические исследования проведены по стандартным методикам. Для определения биохимических показателей продукции из воблы использованы инструментальные методы исследований, в том числе масс-спектрометрия, газовая хроматография и др.

Новизна: определены современные биохимические показатели продукции из воблы, характеризующие её биологическую ценность и полезность.

Результаты: определён ассортимент выпускаемой продукции из воблы в многолетнем аспекте. Проведена оценка литературных данных и результатов собственных исследований по элементному составу мышечной ткани свежей и вяленой воблы. Проведены исследования, в которых представлены результаты по аминокислотному и жирнокислотному составу мышечной ткани свежей и вяленой воблы.

Практическая значимость: сбор актуальных данных о качестве продукции из воблы имеет важное значение для оценки её пищевой и биологической ценности, несмотря на введённый мораторий на добычу воблы в Волго-Каспийском регионе для восстановления её запасов. Результаты проведённых исследований станут основой для последующего мониторинга физиолого-биохимического состояния воблы и оценки пищевой ценности продукции из неё.

Ключевые слова: вобла *Rutilus rutilus caspicus*, продукция, пищевая ценность, биологическая ценность, аминокислотный и жирнокислотный составы, микро- и макроэлементы.

Food and biological value of products from Caspian roach

Marina V. Sytova, Nadezhda Yu. Terpugova

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

The purpose of the work: assessment of the quality indicators of roach (*Rutilus rutilus caspicus*) to determine its nutritional and biological value.

Methods used: analytical research methods in the field of ensuring the quality, nutritional and biological value of products from hydrobionts in international and Russian databases. Physical and chemical research was conducted using standard methods. Instrumental research methods, including mass spectrometry, gas chromatography, and others, were used to determine the biochemical parameters of Caspian roach products.

Novelty: modern biochemical indicators of Caspian roach products have been determined, which characterize their biological value and usefulness.

Practical significance: collecting up-to-date data on the quality of Caspian roach products is essential for assessing their nutritional and biological value, despite the moratorium on Caspian roach harvesting in the Volga-Caspian region to restore its stocks. The results of these studies will form the basis for subsequent monitoring of the physiological and biochemical state of Caspian roach and assessing the nutritional value of Caspian roach products.

Keywords: Caspian roach *Rutilus rutilus caspicus*, products, nutritional value, biological value, amino acid and fatty acid compositions, micro- and macroelements.

ВВЕДЕНИЕ

Продукция из водных биологических ресурсов играет важную роль в обеспечении продовольственной безопасности страны. Она становится всё более популярной в стране, растёт уровень её потребления среди различных слоёв населения, что обусловлено не только пищевой и биологической ценностью, особенностями химического состава, но и уникальностью органолептических свойств [Ким и др., 2019; Сытова, 2019].

Основными компонентами пищевых рыбных продуктов, которые оказывают пользу для организма человека при употреблении в рекомендуемых количествах, согласно установленной суточной потребности, являются белки, жиры, углеводы, а также биологически значимые вещества, такие как витамины, макро- и микроэлементы, ряд других соединений.

Волго-Каспийский регион всегда славился изобилием своих ресурсов – осетровыми видами рыб, сельдями, килькой, воблой, которые являлись основой национального питания.

Вобла (*Rutilus rutilus caspicus* (Jakowlew, 1870)) – эндемик Каспийского моря обитает преимущественно в мелководной прибрежной зоне и почти по всей акватории Северного Каспия, а также в низовьях впадающих в него рек. Основной промысел каспийской воблы осуществляют в дельте Волги (Астраханская область), в основном в весенний период [Иванов и др., 2023; Терпугова, Сытова, 2024].

Запасы воблы за последние несколько десятилетий резко снизились, современное состояние можно охарактеризовать как крайне негативное, что связано с зарегулированием Волги и изменениями её водности, чрезмерной нагрузкой браконьерского и любительского промысла. В 2024–2025 гг. были введены законодательные ограничительные меры на добычу воблы для восстановления популяции [Барабанов и др., 2022; Иванов и др., 2023; Сытова и др., 2025]. Ранее, в целях сохранения запасов воблы, правилами рыболовства для Волжско-Каспийского рыбохозяйственного бассейна был ограничен минимальный промысловый размер длины рыбы – 17 см, менее которого добыча (вылов) запрещена¹.

Из воблы в соответствии с современными стандартами и техническими условиями, вплоть до 2025 г. до введения запрета на промысел, изготавливали различные виды продукции в промышленных условиях,

а также вели переработку для личных нужд кустарным способом [Терпугова, Сытова, 2024]:

- охлаждённая;
- мороженая (неразделанная, потрошёная с головой, потрошёная обезглавленная, тушка);
- солёная (малосолёная, слабосолёная, среднесолёная, крепкосолёная; неразделанная и различных видов разделки);
- вяленая (1 и 2 сорта; всех видов разделки; с использованием и без использования стабилизирующих и вкусо-ароматических ингредиентов; в вакуумной упаковке; со специями и пряностями – ароматная, острая);
- сушено-вяленая (неразделанная, филе);
- сушёная и солёно-сушёная (в том числе в пряностях);
- холодного копчения;
- горячего копчения;
- подкопчёная, копчёно-вяленая, копчёно-провесная, сушено-копчёная.

Также изготавливалась продукция из икры воблы: икра пробойная солёная (так называемая «тарам»), икра ястычная (в том числе с пряностями и ароматизированная), икра вяленая [Сборник технологических..., 1991; Терпугова, Сытова, 2024]. Вытяжка из икры воблы использовалась в косметической промышленности для изготовления антивозрастных кремов и укрепляющих средств для волос².

В последние годы большим спросом у населения пользовалась вяленая, сушёная, сушено-копчёная и копчёная продукция из воблы в виде снеков (сломки, палочек, ломтиков, брусочков, кусочков, филе, чипсов, стружки, хвороста и других видов мелкой разделки (в вакууме и без вакуума)).

При оценке потребительских свойств продукции осуществляют исследования органолептических, физико-химических, биохимических и микробиологических показателей, устанавливают их абсолютные количественные значения и интервалы, а также их изменения, обусловленные природными свойствами сырья и влиянием технологических процессов при переработке. Определение физико-химических и биохимических показателей пищевой продукции (содержание влаги, жира, белка, аминокислотный и жирнокислотный составы и др.) является важнейшим аспектом изучения биологических и пищевых свойств для оценки качества сырья и пищевой пригодности для последующей переработки.

По литературным источникам вобла является источником белков, незаменимых аминокислот, по-

¹ Приказ Минсельхоза России от 13.10.2022 г. №695 (ред. от 26.04.2023) «Об утверждении правил рыболовства для Волжско-Каспийского рыбохозяйственного бассейна». <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202211290035>

² <https://m.dom-eda.com/ingredient/item/vobla.html> 15.10.2025.

линенасыщенных жирных кислот, микро- и макроэлементов (фтора, фосфора, серы, хлора, калия, натрия, хрома, кальция, магния, никеля, молибдена, железа), витаминов (рибофлавина, тиамина, ниацина, никотиновой кислоты, аскорбиновой кислоты, ретинола).

При этом необходимо отметить, что сведения по биологически активным компонентам, определяющим пищевую и биологическую ценность продукции из воблы, освещены в научных источниках крайне недостаточно и носят крайне фрагментарный характер, что обуславливает актуальность настоящего исследования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Образцами для исследований была вобла-сырец, выловленная в рамках экспедиционных работ и при научном лове в р. Волга и Каспийском море в 2017-2024 гг., а также вобла вяленая неразделанная, упакованная под вакуумом, промышленного изготовления, приобретённая в торговой сети в 2023-2025 гг. Кроме того, в сентябре 2024 г. в рамках научного лова была изъята для дополнительных исследований вобла возраста 2+ – 3+. Для проведения исследований образцы были заморожены в морозильной камере для обеспечения сохранности и хранились при температуре минус 18 °С до момента проведения испытаний.

Оценка органолептических показателей осуществлялась: воблы свежей на соответствие требованиям ГОСТ 814-2019³ и ГОСТ 1551-93⁴.

Отбор и подготовку проб к анализам осуществляли по стандартным методикам, определение физико-химических показателей и пищевой ценности проводили в соответствии с общепринятыми методиками по ГОСТ 7636-85⁵ и ГОСТ 31339-2006⁶.

Аминокислотный состав белков определяли с помощью автоматического аминокислотного анализатора Aracus (membraPure, Германия) методом пост-колоночной дериватизации с нингидрином с фотометрическим детектированием на 440 нм и 570 нм. Аминокислотный скор рассчитывали по стандартной методике в сравнении с содержанием аминокислот в эталонном белке, утверждённым ФАО/ВОЗ [Dietary protein quality ..., 2013].

Для определения жирнокислотного состава липидов в образцах предварительно экстрагировали жир хлороформом, после чего подвергали его прямому метилированию с использованием раствора гидроксида калия в метаноле в соответствии

с ГОСТ 31665-2012⁷. Полученные метиловые эфиры жирных кислот анализировали на хроматографе «Кристалл 5000.2» («Хроматэк») по ГОСТ 31663-2012⁸ 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). При обработке результатов измерений использовали метод внутренней нормализации.

Определение холестерина осуществляли с использованием газового хроматографа 7890A (Agilent Technologies, USA) с пламенно-ионизационным и масс-спектрометрическим детектором 7000B (Agilent Technologies, USA) в ФИЦ питания и биотехнологий.

Элементный состав определяли на анализаторе PlasmaMS 300 (Производитель NCS Testing Technology Co., Ltd, Китай) АНО «ЦБМ» методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной аргонной плазмой.

Энергетическую ценность рассчитывали по стандартным методикам с использованием коэффициентов Рубнера с учётом усвоения питательных веществ [Мезенова, Мезенова, 2021; Битютская, Лавриненко, 2024].

При проведении исследований также были использованы аналитический метод систематизации научной информации, требования законодательных актов Российской Федерации, документы по стандартизации различных уровней, нормативные и технические документы.

Статистический анализ проводили с использованием программного обеспечения StatSoft Statistica 10. Применяли однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) для сравнения средних значений между тремя и более группами. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ физико-химических показателей воблы свежей и вяленой

Выход съедобной части воблы в среднем от товарной массы составляет: для свежей, охлаждённой, мороженой – 58%, для вяленой – 50% [Химический состав ..., 2002], что подтверждается результатами настоящих исследований. Для свежей воблы выход съедобной части составил 47,6-50,4% (без учёта массы икры и молока), вяленой воблы – 47,7-49,4%. Выход икры для свежей воблы составил 13,5-20,1% в весен-

³ https://rosgosts.ru/file/gost/67/120/gost_814-2019.pdf

⁴ https://rosgosts.ru/file/gost/67/120/gost_1551-93.pdf

⁵ https://rosgosts.ru/file/gost/67/120/gost_7636-85.pdf

⁶ https://rosgosts.ru/file/gost/67/120/gost_31339-2006.pdf

⁷ https://rosgosts.ru/file/gost/67/200/gost_31665-2012.pdf

⁸ https://rosgosts.ru/file/gost/67/200/gost_31663-2012.pdf

ний период и 6,1-8,3% в осенний период лова, выход молок в среднем – 1,2-1,8%.

Содержание белков, жиров и влаги в мышечной ткани биологического объекта варьирует в зависимости от разных условий: периода вылова, стадии зрелости, условий обитания, видовой принадлежности и др.

Результаты сравнительного анализа современных данных по химическому составу мышечной ткани и различных частей тела свежей воблы при сопоставлении с данными 1927-1939 гг., 1970-1990 гг. и 2020-2024 гг. представлены в табл. 1.

Сравнительный анализ показал следующее. Мышечная ткань свежей воблы характеризуется высоким содержанием влаги (около 75-78%, особи воблы возраста 2+-3+ – около 80%), что свойственно для большинства пресноводных рыб.

Содержание белка свежей воблы, являющегося основным показателем, по которому оценивается пищевая ценность, варьирует в пределах 15-18%, у воблы возраста 2+ – 3+ содержание белка составляет около 19%. Необходимо отметить, что содержание белка в мышечной ткани воблы в весенний период выше, чем в особях, вылавливаемых в осенний период (табл. 1).

Содержание жиров в мышечной ткани воблы составляет от 1 до 6% в зависимости от периода вылова и возраста. Осенью рыба содержит большее количество жиров, чем в весенний период. В мышечной ткани воблы возраста 2+ – 3+ – содержание жира составило 0,6%.

Икра воблы представляет собой ценный продукт и превосходит мясо по своей пищевой ценности. Так, содержание белка в икре, согласно публикациям, составляет 22-28%, жира – более 5%. Белок содержит полный набор незаменимых и заменимых аминокислот. Жиры икры воблы богаты биологически активными жирными кислотами, жирорастворимыми витаминами А, D, Е, F. Кроме того, в икре воблы отмечается высокое содержание кальция, серы, фосфора и других микро- и макроэлементов [Справочник по химическому ..., 1999; Ахмерова и др., 2012; Информационные сведения ..., 2013].

Требования на воблу вяленую и сушено-вяленую установлены ГОСТ 1551-93¹⁰ и ГОСТ 33803-2016⁹. Разница этих видов продукции заключается в требованиях по содержанию массовой доли влаги (для вяленой – не более 45%, для сушено-вяленой – 20-30%) и массовой доли поваренной соли (для вяле-

Таблица 1. Химический состав частей тела свежей воблы, %
Table 1. Chemical composition of fresh Caspian roach body parts, %

Объект исследования	Влага			Жир			Белок			Зола		
	1927-1939 ¹	1999-2003 ²	2020-2024	1927-1939 ¹	1999-2003 ²	2020-2024	1927-1939 ¹	1999-2003 ²	2020-2024	1927-1939 ¹	1999-2003 ²	2020-2024
Целая рыба	75,7	72,4	77,6-78,9	0,97-5,88	5,0	1,9-2,8	17,2-18,0	18,2-18,4	18,0-19,0	1,53-1,92	1,2-3,5	1,0-1,5
Мясо			74,0-78,9 весна		2,4-2,5 весна	1,0-4,0 весна			17,6-18,4 весна			0,9-1,0 весна
		77,9	77,7-78,5 осень		5,0-5,1 осень	5,9-6,0 осень		18,4	14,7-15,2 осень		1,4	0,9-1,0 осень
Икра		66,1	67,5-70,6		2,9	4,2-4,6		25,5	24,6-25,1		1,4	1,4-1,5
Молоки		77,6			7,3			13,8			1,8	
Внутренности (без гонад и печени)		68,6			15,3			13,9			1,9	
Печень		72,5			2,6			21,9			1,6	
Голова		68,6			7,1			15,7			8,1	
Кости и плавники		66,7			6,0			18,8			8,6	
Кожа		65,1			9,8			27,8			1,3	
Чешуя		51,4			0,3			30,2			18,7	
Плавательный пузырь		66,5			5,7			27,8			1,3	

Примечания: 1 – Дементьева Т.Ф. [1939]; Елисеев Д.С. [1934]; 2 – Справочник по химическому составу и технологическим свойствам рыб внутренних водоемов [1999]; Информационные сведения о пищевой ценности ... [2003, 2013].

⁹ https://rosgosts.ru/file/gost/67/120/gost_33803-2016.pdf

ной – от 6 до 15%, для сушёно-вяленой – 6-13%). Необходимо отметить, что ряд предприятий изготавливал продукцию из воблы по разработанным техническим условиям, устанавливая при этом требования по показателям качества и безопасности, которые могли несколько отличаться от требований государственных стандартов.

Результаты проведённых исследований физико-химического состава вяленой воблы представлены в табл. 2.

кроэлементами, многие из которых являются эссенциальными (железо, йод, медь, цинк, кобальт, хром, молибден, марганец и др.). По данным И.Я. Клейменова [1971] в весенней вобле калия, кальция и магния несколько больше (на 15,8%, 8,0% и 2,9% соответственно), чем в рыбе, выловленной в осенний период, а железа и фосфора, наоборот, в осенней вобле несколько больше, чем весной (на 10,3% и 1,2% соответственно). Сообщается, что в 100 г вяленой воблы содержится 1/3 дневной нормы потребности в железе и никоти-

Таблица 2. Данные физико-химических исследований вяленой воблы
Table 2. Data from physical and chemical studies of dried Caspian roach

Параметры	Норма	Результаты
Массовая доля влаги, %	не более 45	43,2±1,11
Массовая доля жира, %	не нормируется	6,5±0,13
Массовая доля белка, %	не нормируется	38,5±0,42
Массовая доля углеводов, %	не нормируется	0
Содержание золы, г/100г продукта	-	9,73±0,04
Массовая доля поваренной соли, %	от 6 до 15	8,7±1,23

Органолептическая оценка исследуемых образцов свежей воблы показала их соответствие нормативным требованиям, отклонений и порочащих признаков отмечено не было.

Исследуемые образцы вяленой воблы по органолептическим и физико-химическим показателям соответствовали требованиям ГОСТ 1551-93¹⁰. Отмечена положительная органолептическая оценка вяленой воблы по внешнему виду, цвету, консистенции, вкусу и запаху.

Анализ содержания микро- и макроэлементов, витаминов и иных биохимических показателей в вобле и продукции из неё

Информация по макро- и микроэлементам, витаминам в свежей и вяленой вобле носит исключительно фрагментарный характер.

Как свежая, так и вяленая вобла содержит ряд важных для организма человека витаминов, микро- и макроэлементов. Также для сведения представлена информация по их содержанию в вобле холодного копчения (табл. 3) [Химический состав ..., 2002; Клейменов, 1971; Информационные сведения о пищевой ..., 2003; Химический состав пищевых..., 2002; Ким и др., 2020; Чаплыгин, 2019, Вобла,^{10,11}].

Согласно литературным данным (табл. 3), вобла в свежем и переработанном виде богата макро- и ми-

новой кислоте, участвующих в процессе кроветворения [МЗР¹²; Клейменов, 1971]. При этом следует указать, что употребление вяленой и сушёной продукции из воблы должно быть ограничено из-за значительного содержания в ней соли, что требует осторожности для людей, страдающих гипертонией, заболеваниями сердечно-сосудистой системы и почек¹³.

Надо отметить, что в табл. 3 для сравнения приведены данные по публикациям более чем 20-летней давности, современные данные в научной литературе отсутствуют. Это вызвало необходимость проведения исследований по установлению в образцах мышечной ткани свежей и вяленой воблы содержания макро- и микроэлементов.

Химические элементы попадают в организм живых объектов в основном из воды и пищи. Знание элементного химического состава рыбы крайне значимо, так как определение макро- и микроэлементов позволяет судить о полноценности рыбы при использовании её в пищу для участия в процессах обмена веществ. В живых организмах макро- и микроэлементы входят в состав гормонов, ферментов, витаминов и других жизненно важных соединений, которые необходимы для питания человека. Так, кальций и магний требуются для нормального функционирования сердечных и скелетных мышц.

¹⁰ <https://myfoodbro.ru/food/all/vobla/> 15.10.2025.

¹¹ <https://myfoodbro.ru/food/all/vobla-kaspiyskaya-vyalenaya/> 17.10.2025.

¹² https://health-diet.ru/base_of_food/sostav/58.php 17.10.2025.

¹³ <https://rskrf.ru/tips/eksperty-obyasnyayut/vobla-polza-i-vred/> 17.10.2025.

Таблица 3. Содержание витаминов, макро- и микроэлементов, иных биохимических характеристик в вобле и продукции из неё

Table 3. Content of vitamins, micro- and macroelements and other biochemical characteristics in Caspian roach and products made from it

Показатель	Вид продукции			Допустимое потребление (не более) / физиологическая потребность в сутки** (СанПиН 2.3.2.1078-01 ¹⁴ / МР 2.3.1.0253-21 ¹⁵)
	Вобла свежая	Вобла вяленая	Вобла холодного копчения	
Холестерин, мг/100 г	83,0±17,0* 55,0	129,0±26,0*	133,0	не более 300 мг
Насыщенные жирные кислоты, г/100 г	0,6	1,69*	1,5	не более 10% от суточной калорийности суточного рациона
Витамины				
Витамин А (ретинол), мг/100 г	20,0		30,0	900 / 800 мкг
Витамины группы В:				
В ₁ , тиамин, мг/100 г	0,12	0,08	0,07	1,5 мг
В ₂ , рибофлавин, мг/100 г	0,14	0,078	0,09	1,8 мг
В ₃ (РР, ниацин), мг/100 г	3,2-6,6	0,33	4,9	20 мг
Витамин D, мг/100 г	0,1			15 мкг
Витамин С, мг/100 г	1,0	0,011		100 мг
Витамин Е, мг/100 г	0,6-0,1	0,04		15 мг
Макроэлементы				
Натрий, Na, мг/100 г	27,466±2,747* 60,0	888,157±88,816*	4546,0	1300 мг
Кальций, Ca, мг/100 г	51,811±5,181* 40,0-52,0	144,113±14,411*	189,0	1000 мг
Калий, K, мг/100 г	55,415±5,541* 160,0-260,0	66,204±6,620*	169,0	3500 мг
Магний, Mg, мг/100 г	60,414±6,041* 25,0-36,0	49,232±4,923*	39,0	420 мг
Фосфор, P, мг/100 г	117,985±11,799* 167,5-260,0	313,846±31,384*	226,0	700 мг
Сера, S, мг/100 г	180,0			
Микроэлементы				
Железо, Fe, мг/100 г	1,945±0,195* 0,6-3,4	2,036±0,204*	2,9	10 / 14 мг
Йод, I, мкг/100 г	7,61±1,14* 50,0	36,9±4,43*		0,15 мг
Марганец, Mn, мг/100 г	0,04±0,005* 0,05-0,068	0,026±0,003*		2,0 мг
Медь, Cu, мкг/100 г	0,138±0,014* 60,0-98,0	133,1±13,3*		1,0 мг
Молибден, Mo, мкг/100 г	2,16±0,325* 4,0	2,19±0,328*		0,07 мг
Фтор, F, мкг/100 г	не определяли* 430,0	не определяли*		4 мг

¹⁴ Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 14.11.2001 № 36 (ред. от 06.07.2011) «О введении в действие Санитарных правил» (вместе с «СанПиН 2.3.2.1078-01. 2.3.2. Продовольственное сырье и пищевые продукты. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы», утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 06.11.2001). 15.10.2025.

¹⁵ 2.3.1.0253-21. 2.3.1. Гигиена питания. Рациональное питание. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Методические рекомендации (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 22.07.2021). 15.10.2025.

Показатель	Вид продукции			Допустимое потребление (не более) / физиологическая потребность в сутки** (СанПиН 2.3.2.1078-01 ¹⁴ / МР 2.3.1.0253-21 ¹⁵)
	Вобла свежая	Вобла вяленая	Вобла холодного копчения	
Цинк, Zn, мг/100 г	1,763±0,176* 0,7-19,0	4,001±0,400*		12 мг
Кремний (Si), мкг/100 г	6203,3±620,3*	27038,3±2703,8*		30 мг
Бор (В), мкг/100 г	59,3±7,12*	138,0±13,8*		
Рубидий (Rb), мкг/100 г	280,1±28,0*	914,7±91,5*		
Стронций (Sr), мкг/100 г	30,8±3,69*	268,4±26,8*		
Алюминий (Al), мкг/100 г	117,9±11,8*	417,3±41,7*		
Свинец (Pb), мкг/100 г	15,5±1,86*	6,07±0,911*		
Кадмий (Cd), мкг/100 г	0,478±0,0955*	1,66±0,249*		
Ультрамикрэлементы				
Селен, (Se), мкг/100 г	31,7±3,81*	33,2±3,99*		0,07 / 0,055 мг
Кобальт, Со, мкг/100 г	2,01±0,301* 12,7-20,0	2,41±0,362*		0,01 мг
Хром, Сг, мкг/100 г	22,7±2,72* 40,0-55,0	166,4±16,6*		0,04 мг
Никель, Ni, мкг/100 г	28,2±3,39* 5,4-6,0	17,3±2,07*		
Ванадий (V), мкг/100 г	26,0±3,13*	460,8±46,1*		0,015 мг
Литий (Li), мкг/100 г	20,0±2,39*	49,5±5,95*		
Олово (Sn), мкг/100 г	3,83±0,574*	8,33±1,25*		
Германий (Ge), мкг/100 г	33,1±3,98*	48.6±6,83*		
Сурьма (Sb), мкг/100 г	0,0698±0,0209*	0,0968±0,029*		
Барий (Ba), мкг/100 г	8,87±1,33*	41,2±4,94*		
Висмут (Bi), мкг/100 г	0,0258±0,00774*	0,32±0,064*		
Галлий (Ga), мкг/100 г	2,22±0,333*	1,44±0,216*		
Лантан (La), мкг/100 г	0,0623±0,0187*	0,0757±0,0227*		
Вольфрам (W), мкг/100 г	0,155±0,031	0,118±0,0237*		
Цирконий (Zr), мкг/100 г	1,21±0,182**	3,12±0,482*		
Платина (Pt), мкг/100 г	<0,01*	0,0105±0,003*		
Серебро (Ag), мкг/100 г	0,65±0,13*	0,598±0,12*		
Золото (Au), мкг/100 г	<0,01*	0,107±0,021*		
Мышьяк (As), мкг/100 г	8,81±1,32*	69,7±8,37*		
Ртуть (Hg), мкг/100 г	3,59±0,538*	23,3±4,0*		
Таллий (Tl), мкг/100 г	0,0138±0,00414*	0,315±0,063*		
Бериллий (Be), мкг/100 г	<0,01*	0,044±0,013*		

Примечание: * – результаты собственных исследований; ** – нормы физиологической потребности представлены для взрослых (мужчины/женщины).

Магний, кальций, фосфор входят в состав костей и других тканей биологического объекта, они востребованы для питания нервной системы. Марганец способствует росту, размножению, кроветворению и обмену веществ. Железо поддерживает уровень гемоглобина в крови живого организма. Натрий и калий регулируют водный и кислотно-щелочной баланс в крови и тканях. Медь играет значительную роль

в поддержании баланса обмена железа и синтезе гемоглобина. Цинк выступает кофактором в различных ферментных системах, а также необходим в процессах размножения. При этом металлы имеют предельные концентрации, определяющие как их дефицит, так и оптимальный уровень, выше которого возможно токсическое воздействие на организм. Недостаток или избыток ряда элементов в рационе могут приве-

сти к нарушениям обмена веществ или заболеваниям [Кизеветтер, 1973; Juczyska et al., 2006; Бичаева, Мусаев, 2008; Ким и др., 2020; Скальный, 2010].

В исследуемых образцах установлено наличие биогенных элементов, таких как Ca, P, Fe, Mg, Cu, Zn, B, Si, Mo, V, Se, Cr, Ni, F, I, Sn, необходимых для жизнедеятельности живых организмов.

Взаимодействие химических элементов в организме может проявляться в виде синергетических или антагонистических результатов. Синергисты (например, кальций-фосфор, натрий-хлор, железо-медь, марганец-цинк, железо-молибден, медь-железо) функционируют на уровне тканевого и клеточного метаболизма, способствуют различным структурным процессам. Антагонисты (например, магний-фосфор, цинк-медь, кобальт-железо, кальций-цинк+магний) оказывают противоположное влияние на биохимические функции в организме или тормозят абсорбцию друг друга в пищеварительном тракте. Необходимо отметить, что важнейшими видовыми характеристиками являются соотношения биогенных элементов: кальций/магний, железо/медь, железо/марганец, медь/цинк, медь/марганец и марганец/цинк [Радыш и др., 2017; Ким и др., 2019].

Марганец обладает свойством окислять железо, поэтому значительное количество марганца затруднит усвоение железа, оптимальным считается соотношение Mn: Fe – 1:2-5. Следует отметить, что оптимальным для усвояемости кальция из пищи является его содержание в соотношении с фосфором на уровне 1:1-1:5. При недостаточном поступлении магния снижается доступность кальция из продуктов питания. Оптимальным соотношением Ca: Mg является 1:0,5-0,4, в здоровом организме поддерживается соотношение этих элементов 1:1. Микроэлементы медь и цинк, взаимодействуя друг с другом, обеспечивают оптимальное функционирование различных систем организма. Эти элементы являются антагонистами, они конкурируют друг с другом за усвоение в организме. В большинстве случаев цинк препятствует всасыванию меди в желудочно-кишечном тракте, из-за чего может возникнуть её дефицит. Оптимальное соотношение между цинком и медью в организме составляет около 10:1–15:1. Кадмий – антагонист меди и цинка. Высокое содержание железа, свинца и олова является причиной низкой усвояемости цинка [Клейменов, 1962, 1971; Радыш и др., 2017; Тармаева, Боева, 2014; Иванцова, Селезнева, 2020; mksegment.ru¹⁶; Баланси-

руем рационы...¹⁷]. Ряд соотношений вышеуказанных элементов как в свежей, так и в вяленой вобле соответствующим оптимальным, например, Ca: P и Ca: Mg.

Результаты исследований показали наличие в исследуемых образцах эссенциальных или жизненно необходимых (V, Fe, I, Co, Si, Li, Ni, Mn, Cu, Mo, As, Se, F, Cr, Zn) и условно эссенциальных (B, Cd, Pb, Sr) микроэлементов. Остановимся на некоторых из них, содержание которых в предыдущие годы не было определено, но они могут играть важную роль как в питании человека, так и для воблы – как биологического объекта.

В свежей и вяленой вобле отмечается высокое содержание кремния – около 6,2 и 27,0 мг в 100 г мышечной ткани соответственно. Данный элемент относится к эссенциальным для биологических объектов. Кремний необходим для формирования соединительной ткани (кости, хрящи, суставы и др.). Соединения кремния ускоряют обменные процессы в организме, стимулируют рост клеток кожи, выработку коллагена, эластина, кератина и гликозаминогликанов. Отмечена способность кремния очищать живые организмы. Он обладает противовоспалительным действием, важен для иммунной системы, обладает терапевтическим действием при онкологических заболеваниях [Радыш и др., 2017; Медицинская элементология, 2021; Скальный, 2010].

Из жизненно необходимых элементов установлено содержание селена в исследуемых образцах: около 32 мкг/ 100 г в свежей вобле и 33 мкг/ 100 г в вяленой вобле. Селен в организме выполняет различные функции: стимулирует обмен веществ, усиливает иммунную систему, важен при лечении кардиопатии, гепатита, панкреатита и других заболеваниях, обладает антиоксидантными свойствами [Скальный и др., 2005; Скальный, 2010].

Можно выделить содержание ванадия, являющегося условно эссенциальным ультрамикроэлементом, который в организме участвует в регуляции углеводного обмена и сердечно-сосудистой деятельности, метаболизме тканей костей [Скальный и др., 2005]. В свежей вобле содержание ванадия составляет около 26 мкг/ 100 г, в вяленой – около 460 мкг/ 100 г.

Ряд элементов, нормируемых в пищевой продукции (свинец, кадмий, ртуть, мышьяк), в образцах мышечной ткани свежей и вяленой воблы содержатся в установленных нормативными документами допустимых пределах.

Можно отметить наличие в исследуемых образцах содержание малоизученных элементов (Rb, Ge, Ga, Sb,

¹⁶ <https://mksegment.ru/d/mozhno-li-odnovremenno-upotrebyat-cink-i-med-vzaimodejstvie-mikroelementov-i-ih-vliyanie-na-organizm> 17.10.2025.

¹⁷ <https://static.zzzr.ru/public/article/pdf/zzr-2021-11-011.pdf> 17.10.2025.

La, W, Zr, Pt, Au) в ультрамикрочастицах. Эти элементы присутствуют в живых организмах, но их биологическая роль и степень необходимости в настоящее время недостаточно изучена или только изучается учёными.

Ряд элементов, считающихся токсичными или условно токсичными (Al, Cd, Pb, Hg, Be, Ba, Bi, Tl, F, As, Sn) в зависимости уровня содержания, представлены в исследуемых образцах в ультрамикродозах или в следовых количествах. Здесь можно привести цитату доктора медицины Парацельса (Швейцария, 1493-1541 гг.): «Всё есть яд, и всё есть лекарство; одна лишь доза делает вещество или ядом, или лекарством» [Янин, 2010].

Исследование роли химических элементов в жизнедеятельности организмов, в том числе влияние на водные биоресурсы, степень их эссенциальности или токсичности, представляет научный интерес и требует продолжения мониторинговых исследований в этом направлении. Кроме того, необходимо изучать влияние различных элементов, содержащихся в водных биоресурсах, являющихся продуктами питания, на обеспеченность ими людей с физиологической точки зрения.

Определение содержания холестерина в мышечной ткани свежей и вяленой воблы показало низкие уровни его содержания, особенно в свежем виде. При суточной норме потребления холестерина не более 300 мг, которая рекомендуется для людей с нормальным уровнем содержания холестерина, допустимо использование в пищу в сутки не более 230 г вяленой воблы в разделанном виде. Содержание холестерина в мышечной ткани свежей воблы в количестве до 350 г соответствует суточному нормативу. При этом надо отметить, что при жарке рыбы содержание холестерина будет увеличиваться, поэтому можно рекомендовать её использование в пищу в отварном или запечённом виде.

Витамины – низкомолекулярные органические вещества, как правило не синтезируемые в живом организме, а получаемые им из пищи. Они обладают определёнными специфическими функциями. Ряд витаминов образуется в организме из провитаминов (предшественников), так витамин PP синтезируется из аминокислоты триптофана, D₃ – из 7-дегидрохолестерина. Они не являются пластическим материалом или источником энергии, их основные функции – участие в работе биокатализаторов (в качестве коферментов), в регуляции (в качестве гормоноподобных соединений) и в подавлении образования свободных радикалов. Для человека основным источником витаминов являются продукты питания. Дефицит одного витамина невозможно заменить другим, отсутствие в необхо-

димом количестве витаминов в организме приводит к нарушениям и сбоям обмена веществ, серьёзным заболеваниям [Тармаева, Боева, 2014].

Имеющиеся ограниченные сведения по наличию витаминов в вобле и продукции из неё (табл. 3) уже характеризует её с положительной стороны как полноценный продукт питания, с точки зрения биологической эффективности для человеческого организма. Содержание жирорастворимых витаминов А, D, Е, водорастворимых витаминов С и группы В при употреблении воблы позволяют предупредить у человека ряд патологических состояний, связанных с обменом веществ, регуляцией функциональных состояний центральной нервной системы, балансом кальция и фосфора в организме, антиоксидантной активностью и др. Однако, данные по витаминам в вобле, представленные в табл. 3, требуют серьёзного уточнения в качественном и количественном отношении.

Таким образом, необходимы дополнительные исследования для получения актуальных данных о содержании в вобле и продукции из неё биологически значимых элементов и витаминов.

Энергетическая ценность (калорийность) воблы свежей и вяленой

Исследования энергетической ценности (калорийности) воблы свежей и вяленой показали следующее. Калорические коэффициенты пищевых веществ могут исчисляться в ккал или кДж. В данном исследовании при расчётах были использованы коэффициенты Рубнера, показывающие количество энергии в килокалориях при окислении 1 г жира (9,29) и белка (4,1), с поправкой на коэффициенты усвоения организмом жира (0,91) и белка (0,96). Результаты исследования представлены в табл. 4.

Таблица 4. Энергетическая ценность мышечной ткани воблы свежей и вяленой, ккал/г

Показатель	Мышечная ткань воблы свежей	Мышечная ткань воблы вяленой
	81,909 (молодь, сентябрь 2024)	–
Калорийность	114,692 (рыба промыслового размера)	202,344

На основании полученных данных свежая вобла является низкокалорийным продуктом.

Энергетическая ценность мышечной ткани воблы вяленой высокая, более 200 ккал, что практически в два раза выше данного показателя у мышечной ткани свежей воблы (около 115 ккал).

Аминокислотный и жирнокислотный составы мышечной ткани воблы свежей и вяленой

Белки в организме играют важную роль, благодаря выполнению пластической, энергетической, каталитической, регуляторной, защитной, транспортной и других функций. Молекулы белков, являясь высокомолекулярными азотистыми соединениями, построены из остатков аминокислот. Качество белков определяется наличием полного набора незаменимых аминокислот в определённом соотношении как между собой, так и с заменимыми аминокислотами¹⁸.

Аминокислотный состав белков мышечной ткани воблы свежей и вяленой, определяющий биологическую ценность, представлен в табл. 5.

Данный показатель является одним из определяющих факторов качества, биологической эффективности, усвояемости и полезности пищевой продукции.

По результатам исследования аминокислотного состава белков мышечной ткани воблы свежей и вяленой установлено следующее. В исследованных образцах он представлен 19 аминокислотами (из них цистин и цистеин суммарно), количественный состав варьируется в зависимости от того, сырец это или вяленый продукт.

Доминирующими аминокислотами в свежей вобле являются из незаменимых – лизин (1,919 г/100 г продукта) и лейцин (1,621 г/100 г продукта), из заменимых – глутаминовая кислота (3,544 г/100 г продукта), аспарагиновая кислота (1,999 г/100 г продукта), арги-

Таблица 5. Аминокислотный состав белков мышечной ткани воблы свежей и вяленой, г/100 г продукта
Table 5. Amino acid composition of fresh and dried Caspian roach muscle tissue proteins, g/100 g of product

Показатель	Мышечная ткань воблы свежей	Мышечная ткань воблы вяленой
Незаменимые аминокислоты		
Треонин (Thr)	0,855	1,657
Валин (Val)	0,857	1,866
Метионин (Met)	0,641	1,277
Изолейцин (Ile)	0,756	1,564
Лейцин (Leu)	1,621	3,253
Фенилаланин (Phe)	0,834	1,598
Лизин (Lys)	1,919	3,665
Триптофан (TRP)	0,124	0,284
Незаменимые аминокислоты, Σ	7,607	15,164
Условно незаменимые аминокислоты		
Аргинин (Arg)	1,136	2,208
Гистидин (His)	0,591	1,079
Условно незаменимые аминокислоты, Σ	1,727	3,287
Заменимые аминокислоты		
Аспарагиновая к-та (Asp)	1,999	3,887
Серин (Ser)	0,747	1,606
Глутаминовая к-та (Glu)	3,544	6,896
Глицин (Gly)	0,893	1,942
Аланин (Ala)	1,097	2,302
Пролин (Pro)	0,652	1,554
Тирозин (Tyr)	0,688	1,351
Цистин+Цистеин ((Cys)2)	0,093	0,450
Заменимые аминокислоты, Σ	9,713	19,988

¹⁸ МР 2.3.1.0253-21. 2.3.1. Гигиена питания. Рациональное питание. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. https://www.rospotrebnadzor.ru/upload/iblock/789/1.-mr-2.3.1.0253_21-normy-pishchevykh-veshchestv.pdf

нин (1,136 г/100 г продукта) и аланин (1,097 г/100 г продукта).

В вяленой вобле из незаменимых аминокислот наибольшее количество приходится, как и в свежей

рыбе, на лизин (3,665 г/100 г продукта) и лейцин (3,253 г/100 г продукта), из заменимых на глутаминовую кислоту (6,896 г/100 г продукта), аспарагиновую кислоту (3,887 г/100 г продукта), аланин (2,302 г/100 г продукта) и аргинин (2,208 г/100 г продукта).

Наименьшее содержание установлено у свежей воблы аминокислот: цистин + цистеин (0,093 г/100 г продукта), у вяленой – триптофан (0,284 г/100 г продукта).

Поскольку процесс вяления рыбы является щадящим в части температурного режима, влияние данного процесса обработки рыбы привело к тому, что суммарное количество как незаменимых, так и заменимых аминокислот практически удваивается.

Проведён анализ аминокислот белка свежей и вяленой воблы в сравнении с эталонным, так называемым «идеальным» белком, состав которого был утверждён ФАО/ВОЗ в 2011 г. (табл. 6) [Dietary protein quality ..., 2013].

Важным критерием при оценке биологической ценности воблы, как продукта питания, является содержание отдельных аминокислот в мышечной ткани рыбы, их статус и уровень обеспеченности, но и для мониторинга физиолого-биохимического состояния организма самой рыбы, в том числе в случае выявления патологических процессов.

Особой значимостью обладают незаменимые аминокислоты, а также ряд заменимых аминокислот, входящих по данным ФАО/ВОЗ в состав эталонного белка, согласно физиологическим потребностям человека. Представленные в табл. 6 данные показывают сбалансированность аминокислот и их высокое содержание как в свежей, так и в вяленой вобле. По удельному

весу содержания аминокислот в мышечной ткани воблы свежей и вяленой основной по значимости является глутаминовая кислота, затем следуют аспарагиновая кислота, лейцин, лизин, аланин и аргинин.

Глутаминовая кислота стимулирует рост и развитие организма. Аспарагиновая кислота, являющаяся ключевой для организма человека, поддерживает работу иммунной и нервной системы. Лейцин и изолейцин задействованы в синтезе и распаде протеина и укреплении иммунной системы организма. Лизин участвует в процессе кроветворения и выработке антител и гормонов. Наличие цистина в вобле позволяет рекомендовать её употребление в пищу при интенсивных физических нагрузках, в стрессовых ситуациях, при ослабленном иммунитете и для лиц старшего поколения. Метионин принимает участие в обмене липидов, углеводном и белковом обмене. Треонин, как синергетик, активизирует усвоение других аминокислот [Кизеветтер, 1973; Макарова и др., 2019; Энциклопедия питания ..., 2024].

Для водных биологических ресурсов аминокислоты являются основой для биосинтеза белка, ряд из них участвует в энергетическом обеспечении организма, в определённых условиях из них могут быть синтезированы углеводы и жиры. Некоторые аминокислоты и продукты их декарбоксилирования (биогенные амины) оказывают регулирующее действие на многие физиологические функции живого организма. Недостаток аминокислот ведёт к уменьшению массы тела и различным патологиям. Глутаминовая кислота участвует в синтезе белков, входит в состав гемоглобина и рибонуклеазы, её значительное содержание в вобле характерно для белков мышечной ткани

Таблица 6. Анализ содержания аминокислот в белках воблы свежей и вяленой в сравнении с эталонным белком, утверждённым ФАО/ВОЗ

Table 6. Analysis of amino acid content in fresh and dried Caspian roach proteins in comparison with the reference protein approved by FAO/WHO

Наименование аминокислота	Рекомендации ФАО/ВОЗ, г/100 г белка	Мышечная ткань свежей воблы		Мышечная ткань вяленой воблы	
		Содержание аминокислоты, г/100 г белка	Скор, %	Содержание аминокислоты, г/100 г белка	Скор, %
Гистидин	1,6	3,28	205,0	2,80	175,0
Изолейцин	3	4,20	140,0	4,06	135,3
Лейцин	6,1	9,01	147,7	8,45	138,5
Лизин	4,8	10,66	222,1	9,52	198,3
Метионин+цистеин	2,3	4,08	177,4	4,49	195,2
Фенилаланин+тирозин	4,1	4,63	112,9	7,66	186,8
Треонин	2,5	4,75	190,0	4,30	172,0
Триптофан	0,66	0,69	104,5	0,74	112,1
Валин	4	4,76	119,0	4,85	121,3

пресноводных рыб. Аспарагиновая кислота участвует в синтезе пуринов, пиримидинов, креатина, её высокое содержание свойственно для всех видов гидробионтов. Глицин является уникальной аминокислотой, участвующей в ряде синтетических процессов при образовании белков, пуриновых нуклеотидов, креатина, глутатиона и др. Так, из фенилаланина и тирозина образуется меланин, влияющий на формирование окраски рыб. Глицин и аланин играют огромную роль в обменных процессах в организме животных. Отсутствие валина в организме влияет на развитие центральной нервной системы и вызывает мышечную слабость. Цистин участвует в окислительном процессе организма рыб и влияет на их упитанность. Метионин и цистин в организме стимулируют его рост и развитие, при отсутствии метионина происходят нарушения обмена серы и задержка процессов метилирования при синтезе креатина у рыб. Лизин участвует в обмене веществ, синтезе белков. При отсутствии фенилаланина нарушается синтез адреналина [Лысыков, 2012; Кизеветтер, 1973; Джабаров, 2006; Энциклопедия питания ..., 2024].

Необходимо изучение характера изменений качественного и количественного составов аминокислот в вобле с учётом различных факторов: возраста и стадии зрелости особей, периодов нереста и вылова, характера питания рыбы, содержания аминокислот в различных тканях и органах (в том числе в половых продуктах), среды обитания в современных сложных экологических условиях в Волго-Каспийском регионе, при смене условий среды обитания (море/река), для установления аминокислотного статуса и понимания роли аминокислот в процессах, происходящих в рыбе на различных этапах её жизненного цикла, а также при переработке и производстве различных видов продукции.

Жиры – органические вещества, основную часть которых составляют жирные кислоты. Пространственная структура жирных кислот определяет их биохимические свойства. В теле воблы жир располагается тонкой плёнкой под кожей, имеются небольшие скопления прикостного, а также брюшного и спинного жира [Клейменов, 1971; Гладышев, 2012].

Жирнокислотный состав мышечной ткани воблы свежей и вяленой по результатам исследований представлен в табл. 7.

Характерной специфичностью состава липидов водных биоресурсов является преобладание ненасыщенных жирных кислот, в том числе это касается и эссенциальных полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК), таких как арахидоновая (АРК), эйкозапентаеновая (ЭПК), докозапентаеновая, докозагексаеновая

(ДГК) и др. В пресноводных рыбах содержание мононенасыщенных жирных кислот (МЖК) преобладает над количеством полиненасыщенных. Это находит подтверждение и в результатах исследований авторов (табл. 7).

Для рыб и других живых объектов незаменимыми жирными кислотами являются 18-атомные жирные кислоты семейств омега-3 и омега-6, в которые входят линолевая и альфа-линоленовая жирные кислоты. Данные кислоты играют важную роль для живых организмов, так как они являются предшественниками эссенциальных полиненасыщенных жирных кислот с 20-22 атомами углерода. Эйкозапентаеновая и докозагексаеновая жирные кислоты оказывают лечебно-профилактическое действие, улучшают функционирование органов кровообращения и нервной системы, нормализуют липидный обмен. Для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний необходимо употреблять ЭПК+ДГК около 1 г в сутки [Гладышев, 2012].

ПНЖК могут снижать уровень холестерина, тогда как насыщенные жирные кислоты (НЖК) способствуют его повышению, причем, вклад различных НЖК в повышение уровня холестерина неодинаков [Шульгина и др., 2023].

Для характеристики качества и физиологической значимости компонентов жира, обусловленных их положительным воздействием на здоровье человека, необходимо оценить пищевые индексы качества жиров или так называемые липидные индексы здоровья (health lipid indices). Учёными оцениваются такие показатели как, соотношение ПНЖК/НЖК (должно быть больше 0,45), омега-6/омега-3 (должно быть меньше 5,0), индексы атерогенности и тромбогенности, гипохолестеринемический показатель и общий индекс качества липидов продуктов, в основу которых заложено сопоставление между отдельными насыщенными и ненасыщенными жирными кислотами [Бабурина и др., 2018; Шульгина и др., 2023].

В рамках настоящего исследования были оценены некоторые показатели, характеризующие липидный профиль образцов воблы свежей и вяленой.

Соотношение ПНЖК/НЖК в вобле свежей и вяленой составляют 0,65 и 0,57 соответственно. Этот показатель даёт первичную оценку качества жира, его значения выше рекомендуемого показателя в 0,45 говорят о полезности жиров данных продуктов.

Соотношение омега-6/омега-3, являющееся индикатором пищевой ценности жира как в свежей вобле (0,32), так и в вяленой (0,46) значительно ниже рекомендуемого Международной организацией по питанию значения в 5,0. Низкий уровень данного показателя

Таблица 7. Жирнокислотный состав мышечной ткани воблы свежей и вяленой, % от суммы жирных кислот
Table 7. Fatty acid composition of fresh and dried Caspian roach muscle tissue, % of the total fatty acids

Показатель	Мышечная ткань воблы свежей	Мышечная ткань воблы вяленой
НЖК, %		
С 14:0 Миристиновая	3,97	2,35
С 15:0 Пентадекановая	1,49	0,66
С 16:0 Пальмитиновая	20,18	17,66
С 17:0 Маргариновая	1,01	0,61
С 18:0 Стеариновая	4,19	2,81
С 21:0 Генейкозановая	1,32	0,56
С 24:0 Лигноцериновая	0,74	0,36
МНЖК, %		
С 14:1 п5-с9 Миристолеиновая	0,16	0,20
С 16:1 п7-с9 Пальмитолеиновая	8,48	14,45
С 15:1 п6-с9 изо 13 Пентадеценовая	0,57	0,33
С 17:1 п8-с9 Маргаринолеиновая	1,37	1,50
С 18:1 п9т Элаидиновая	1,42	0,44
С 18:1 п9с Олеиновая	25,06	35,69
С18:1 п7 Октадеценовая	5,90	6,72
С 20:1 Гондоиновая	2,47	0,84
ПНЖК, %		
С 18:2 п6с Линолевая (ЛК)	2,12	1,946072
С 18:3 п6-с6, с9, с12 γ-Линоленовая	0,53	0,375713
С 18:3 п3-с9, с12, с15 альфа-линоленовая (АЛК)	1,00	0,52
С18:4 Стеаридоновая	1,51	0,41
С 20:3 п6с-8, 11, 14 Эйкозатриеновая	0,38	0,21
С 20:3 п3с-11, 14, 17 Эйкозатриеновая	0,74	0,23
С 20:4 п6с-5, с8, с11, с14 Арахидоновая (АРК)	2,17	2,00
С 20:5 п3-5, 8,11,14,17 Эйкозапентаеновая (ЭПК)	5,82	2,98
С 22:5 п3-7,10,13,16,19 Докозапентаеновая	2,77	1,38
С 22:6 п3с-4,7,10,13,16,19 Докозагексаеновая (ДГК)	4,28	4,27
Прочие ЖК	0,33	0,51
Дополнительные сведения по жирнокислотному составу и пищевые индексы качества жиров		
НЖК	32,91	25,37
МНЖК	45,61	60,22
ПНЖК	21,48	14,41
ПНЖК/НЖК	0,65	0,57
омега-3	16,12	9,80
омега-6	5,20	4,53
омега-3+омега-6	21,32	14,33
омега-9	25,70	36,07
омега-3/омега-6	3,10	2,16
омега-6/омега-3	0,32	0,46
ЭПК+ДГК	10,10	7,25
АЛК/ЛК	0,47	0,27

теля свидетельствует об эффективности в снижении риска развития сердечно-сосудистых заболеваний.

По результатам исследования жирнокислотного состава мышечной ткани воблы свежей и вяленой необходимо отметить следующее. В свежей и вяленой вобле суммарное количество физиологически значимых ЭПК и ДГК составляет порядка 10,1% и 7,25% соответственно. Чем больше данный показатель, характеризующий общий индекс качества, тем более полезен данный продукт, что говорит о большей пользе при питании свежей воблой.

По рекомендациям ВОЗ, соотношение поступающих с пищей омега-3 и омега-6 жирных кислот составлять 1:2-1:5¹⁹. Согласно табл. 7 данный показатель как в свежей, так и в вяленой вобле соответствует рекомендуемым пропорциям (3,1 и 2,2 соответственно).

Мононенасыщенные жирные кислоты омега-9 важны для поддержания здоровья человека в части снижения уровня общего холестерина, включая липопротеины низкой плотности (LDL), и повышения уровня «хорошего» холестерина высокой плотности (HDL), а также предотвращения различных серьёзных заболеваний. Причём в сочетании с омега-3 и омега-6 действие её для организма более эффективное. Основным представителем омега-9 является олеиновая кислота, в первую очередь, это касается пресноводных рыб, при этом надо отметить необходимость её умеренного потребления (10-20% от общей суточной калорийности). Олеиновая кислота способствует улучшению обмена веществ, включая липидный обмен, обладает противовоспалительными свойствами, помогает поддерживать нормальный уровень холестерина и улучшает состояние здоровья качество жизни [Елисеева, Мироненко, 2020; Johnson, Bradford, 2014; Farag, Gad, 2022]. В вобле в составе жирных кислот и МНЖ олеиновая кислота превалирует, её содержание от суммы жирных кислот и МЖК составляет в свежей вобле – 45,61% и 54,95% соответственно, в вяленой – 60,22% и 59,27% соответственно.

Соотношение альфа-линоленовой и линолевой кислот (АЛК/ЛК), относящихся к ПНЖК, важен для нормального функционирования организма, рекомендуемое соотношение – 1–2:1. Содержание в вобле АЛК и ЛК (табл. 7) свидетельствует о лимитированном уровне соотношения содержания указанных кислот в мышечной ткани вяленой рыбы. В образцах свежей воблы данная пропорция соответствует рекомендуемому значению.

В целом, для здорового человека рекомендуется потреблять в составе жиров из пищи: ПНЖК – 10-20%, МНЖК – 50-60%, НЖК – 30% [Бабурин и др., 2018]. Исследованные образцы воблы (табл. 7) практически корреспондируются с указанным соотношением видов жирных кислот: для свежей воблы – 21,5% / 45,6% / 32,9%, для вяленой воблы – 14,0% / 60,2% / 25,3%.

Следует согласиться с мнением учёных [Гладышев, 2012; Махутова, Гладышев, 2020] о необходимости проведения исследований по установлению физиолого-биохимической ценности ПНЖК в абсолютных единицах (г/100 г продукта) для расчёта рекомендуемой для употребления порции рыбной продукции, поскольку в настоящее время оценка содержания жирных кислот производится в процентах от общей суммы жирных кислот.

Кроме того, нормами физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации, утверждёнными Роспотребнадзором, установлено, что полиненасыщенные жирные кислоты семейств омега-3 (ω -3) и омега-6 (ω -6) для взрослого человека должны составлять 6-10% от общей суточной калорийности пищи¹⁶. Их содержание при пересчёте на 100 продукта в вобле свежей и вяленой (табл. 7) позволяет удовлетворить суточную потребность организма человека в этих веществах при употреблении в пищу свежей воблы не менее 330 г и вяленой воблы не менее 260 г в день соответственно.

По результатам исследования жирнокислотного состава мышечной ткани свежей и вяленой воблы можно отметить, что биологическая ценность воблы как свежей, так и вяленой определяется значительным сбалансированным содержанием полиненасыщенных жирных кислот, наличием жирных кислот семейств омега-3 и омега-6, а также высоким, преобладающим в общей сумме жирных кислот, содержанием мононенасыщенных кислот. Липидные индексы здоровья также свидетельствуют о пользе продукции из воблы и определяют её высокую пищевую ценность.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные виды продукции из воблы: вобла мороженая, которая идёт на переработку, вобла вяленая и сушено-вяленая (неразделанная или разделанная). Выход съедобной части свежей воблы составил 47,67-50,4%, вяленой воблы – 47,7-49,4%, что согласуется с результатами исследований прошлых лет.

По физико-химическим показателям свежая вобла – среднежирный, высокобелковый продукт, который можно рекомендовать для диетического питания. Энергетическая ценность (калорийность) свежей

¹⁹ <https://77.rosпотребнадзор.ru/index.php/press-centr/186-press-centr/11368-tri-tovarishcha-omega-3-omega-6-omega-9-29-11-2022>

воблы составила около 115 ккал, вяленой воблы – более 200 ккал. Вяленая вобла в питании должна быть ограничена за счёт значительного содержания соли.

Свежая и вяленая вобла содержит широкий спектр жизненно важных биологически активных компонентов: витаминов, макро- и микроэлементов в оптимальных для человека соотношениях. Данные по содержанию витаминов в продукции из воблы крайне ограничены в научных публикациях, что требует проведения на современном этапе дополнительных исследований по установлению их количества. Знание витаминного профиля в продуктах питания важно для разработки рекомендаций по физиологической потребности того или иного продукта для решения вопроса компенсации дефицита витаминов в рационах различных групп населения.

В продукции из воблы высокое содержание калия, фосфора, серы, магния, натрия, железа, цинка, хрома, а также иных микро- и ультрамикроэлементов, многие из которых являются эссенциальными, что свидетельствует о полноценности для участия в процессах обмена веществ. Впервые определён широкий спектр элементного состава в свежей и вяленой вобле, который требует детального изучения.

В мышечной ткани как свежей, так и вяленой воблы содержатся 19 аминокислот, в том числе все незаменимые аминокислоты и аминокислоты, входящие в состав «идеального» белка, скор которых выше 100%. Также содержится широкий спектр жирных кислот, в том числе эссенциальных (ω -3, ω -6, ω -9). Оценены пищевые индексы качества жиров («липидные индексы здоровья»), подтверждающие полезность продукции из воблы в питании. Уровень содержания холестерина низкий.

Полученные данные по биохимическому и элементному составу показывают высокую пищевую и биологическую ценность свежей и вяленой воблы и служат основой для продолжения изучения ее качества и пищевой ценности. Данные могут быть использованы при планировании оптимального питания.

Наиболее популярный, в том числе исторически традиционный вид её переработки – вяление, хоть и сохраняет все полезные свойства и биологически активные вещества, из-за значительного содержания соли, требует осторожности при употреблении определённым группам населения.

Благодарности

Авторы выражают благодарность сотрудникам департамента прикладных исследований комбикормов и научного сопровождения производств ГНЦ ФГБНУ «ВНИРО»; специалистам Автономной некоммерческой

организации «Центр биотической медицины» доктора Скального А.В.; научному сотруднику лаборатории химии пищевых продуктов ФГБНУ «ФИЦ питания и биотехнологии», кандидату фармацевтических наук Палеевой М.А., старшему научному сотруднику лаборатории химии пищевых продуктов ФГБНУ «ФИЦ питания и биотехнологии», кандидату фармацевтических наук Малинкину А.Д. за помощь в обработке образцов объекта исследования.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

Финансирование

Выполнена в порядке личной инициативы без дополнительного финансирования.

ЛИТЕРАТУРА

- Ахмерова Е.А., Копыленко Л.Р., Рубцова Т.Е. 2012. Пищевая ценность икры рыб // Вестник биотехнологии и физико-химической биологии имени Ю.А. Овчинникова. Т. 8. № 4. С. 12-20.
- Бабурина М.И., Вострикова Н.Л., Иванкин А.Н., Зенкин А.Н. 2018. Биохимическая конверсия природных липидов. Обзор // Теория и практика переработки мяса. Т. 3(3). С. 12-26. DOI 10.21323/2414-438X-2018-3-3-12-26
- Барабанов В.В., Горохов М.Н., Шипулин С.В. 2022. О мерах по сохранению и восстановлению популяции воблы *Rutilus rutilus caspicus* (Jakovlev, 1870) // Рыбное хозяйство. № 5. С. 77-81. DOI: 10.37663/0131-6184-2022-5-77-81.
- Битютская О.Е., Лавриненко О.И. 2024. Технология производства рыбной продукции. Практикум. Керчь: КГМУ. 71 с.
- Бичаева О.Н., Мусаев М.А. 2008. Особенности гематологических показателей и микроэлементного состава некоторых органов прудовых рыб // Вестник АГТУ. № 3 (44). С. 71-74.
- Радыш И.В., Скальный А.В., Нотова С.В., Маршинская О.В., Казакова Т.В. 2017. Введение в элементологию. Оренбург: Оренбургский ГУ, ЭБС АСВ. 184 с.
- Гладышев М.И. 2012. Незаменимые полиненасыщенные жирные кислоты и их пищевые источники для человека // Журнал СФУ. Биология. Т. 5. № 4. С. 352-386.
- Дементьева Т.Ф. 1939. Распределение и миграция воблы в море // Труды ВНИРО. Т. 10. С. 81-128.
- Джабаров М.И. 2006. Аминокислотный состав тканей различных видов рыб в онтогенезе и при изменении экологических условий. М.: Изд-во ВНИРО. 215 с.
- Елисеев Д.С. 1934. Технология консервирования рыбы и других водных промысловых. М.-Л.: Снабтехиздат. 228 с.

- Елисеева Т., Мироненко А. 2020. Витамин F – описание, влияние на организм, лучшие источники // Журнал здорового питания и диетологии. № 11. С. 78-89.
- Иванов В.П., Пальцев В.Н., Шипулин С.В. 2023. Рыбные ресурсы Каспийского моря. М.: Изд-во ВНИРО. 560 с.
- Иванцова М.Н., Селезнева И.С. 2020. Основы строения и свойства бионеорганических соединений. Уральский федеральный университет. Екатеринбург. Изд-во Урал. ун-та. 148 с.
- Информационные сведения о пищевой ценности и калорийности рыбы и рыбной продукции. 2013. Выпуск 4. Качество, безопасность и методы анализа продуктов из гидробионтов. М.: Изд-во ВНИРО. 97 с.
- Информационные сведения о пищевой ценности продуктов из гидробионтов. 2003. Вып. 1. Качество, безопасность и методы анализа продуктов из гидробионтов. М.: Изд-во ВНИРО. 96 с.
- Кизеветтер И.В. 1973. Биохимия сырья водного происхождения. М.: Пищ. пром-сть, 1973. 424 с.
- Ким И.Н., Кращенко В.В., Кушнирук А.А. 2019. Безопасность продовольственного сырья и продуктов питания. Морепродукты. В 2 ч. Ч. 1. 2-е изд., испр. и доп. М.: Изд-во Юрайт. 229 с.
- Ким И.Н., Кращенко В.В., Кушнирук А.А. 2020. Безопасность продовольственного сырья и продуктов питания. Морепродукты. В 2 ч. Ч. 2. 2-е изд., испр. и доп. М.: Изд-во Юрайт, 208 с.
- Клейменов И.Я. 1962. Химический и весовой состав рыб водоемов СССР и зарубежных стран. М.: Изд-во Московская правда. 144 с.
- Клейменов И.Я. 1971. Пищевая ценность рыбы. М.: Пищевая пром-ть. 152 с.
- Лысыков Ю.А. 2012. Аминокислоты в питании человека // Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. № 2. С. 88-105.
- Макарова Г.П., Лыкасова И.А., Мухамедьярова З.П., Мижевикина А.С. 2019. Аминокислотный состав мяса двухлеток карпа после применения кремнийсодержащего препарата // Известия Оренбургского ГАУ. № 6(80). С. 228-231.
- Махутова О.Н., Гладышев М.И. 2020. Незаменимые полиненасыщенные жирные кислоты в физиологии и метаболизме рыб и человека: значение, потребности, источники // Рос. физиол. журн. им. И.М. Сеченова. 106(5): 601-621. DOI: 10.31857/S0869813920050040
- Скальный А.В., Скальная М.Г., Киричук А.А., Тиньков А.А. 2021. Медицинская элементология. Изд. второе, испр. и доп. М.: РУДН. 199 с.
- Мезенова О.Я., Мезенова Н.Ю. 2021. Математическое моделирование в пищевой биотехнологии. Калининград: КГТУ. 103 с.
- Прозоровская Н.И. 1952. К методике определения жирности воблы по количеству жира на кишечнике // Докл. по биологии, систематике и питанию рыб, по химии моря и сетеконструированию. Вып. 1. М. Пищепромиздат. С. 75-78.
- Сборник технологических инструкций по обработке рыбы. 1992. Т. 1, 2. М.: Колос. 590 с.
- Скальный А.В. 2010. Микроэлементы: бодрость, здоровье, долголетие. М.: Эксмо. 286 с.
- Скальный А.В., Рудаков И.А., Нотова С.В., Скальный В.В., Бурцева Т.И., Баранова О.В., Губайдулина С.Г. 2005. Биоэлементология: основные понятия и термины. Оренбург: ГОУ ОГУ. 50 с.
- Справочник по химическому составу и технологическим свойствам рыб внутренних водоемов. 1999. / В.П. Быков ред. М.: Изд-во ВНИРО. 207 с.
- Сытова М.В. 2023. Методические подходы к оценке качества пищевой рыбной продукции с использованием сенсорного анализа: научный обзор // Труды ВНИРО. Т. 191. С. 124-141.
- Сытова М.В., Терпугова Н.Ю., Камшуков С.В. 2025. Результаты биолого-статистического анализа по уловам, выпуску продукции из карповых рыб, в том числе из воблы Волжско-Каспийского региона на современном этапе // Рыбохозяйственная наука в XXI веке: ключевые направления развития. Мат. III Межд. науч.-практ. конф. и V Школы молодых ученых и специалистов. М.: Изд-во ВНИРО, в 2-х томах. Том 2. С. 789-794.
- Сытова М.В. 2019. Историческая справка // Энциклопедия «Пищевые технологии». Технологии рыбной промышленности. В 2-х частях. / Л.С. Абрамова ред. М.: Изд-во ВНИРО. С. 15-39.
- Тармаева И.Ю., Боева А.В. 2014. Минеральные вещества, витамины: их роль в организме. Проблемы микронутриентной недостаточности. Иркутск: ИГМУ. 89 с.
- Терпугова Н.Ю., Сытова М.В. 2024. Вобла: продукция, качество, безопасность, паразитарная чистота // Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса. Экосистемы Голарктики в XXI веке. XII межд. науч.-практ. конф. молодых учёных и специалистов, Тюмень, 07-08 ноября 2024 года. М.: Изд-во ВНИРО. С. 137-139.
- Химический состав российских пищевых продуктов. 2002. Справочник / И.М. Скурихин, В.А. Тутельян ред. М.: Дели принт. 236 с.
- Чаплыгин В.А. 2019. Тяжелые металлы в кормовых организмах и осетровых (*Acipenser persicus* и *Acipenser gueldenstaedtii*) Каспийского моря в связи с условиями обитания. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Астрахань. 23 с.
- Шульгина Л.В., Павелъ К.Г., Солодова Е.А., Якуш Е.В. 2023. Липидный профиль и диетическая ценность консервированных продуктов из сардины иваси // Индустрия питания. Т. 8, № 3. С. 123-133. DOI: 10.29141/2500-1922-2023-8-3-13.
- Энциклопедия питания в 10 т. Т. 6. Процессы, происходящие в продуктах при обработке. 2024. Справочное издание / А.И. Черевко, В.М. Михайлова ред. 2-е изд. стер. М.: КНОРУС. 536 с.
- Янин Е.П. 2010. Парацельс и его роль в становлении ятрохимии и токсикологии // Ртуть в биосфере: экологи-

- геохимические аспекты. Мат-лы Междунар. симп. (Россия, Москва, ГЕОХИ РАН, 7-9 сентября 2010 г.). М.: ГЕОХИ РАН. С. 76-84.
- Dietary protein quality* evaluation in human nutrition: Report of an FAO expert Consultation. 2013. Rome: FAO. 66 p.
- Juczycska J., Markiewicz K., Jaworski J. 2006. Interspecific differences in macro- and microelements in fish muscles of six fish species from lakes of the Olsztyn Lake district (North-East of Poland) // Polish journal of food and nutrition sciences. V. 15/56, No 1, pp. 29-35. DOI: 10.4172/2153-0637.1000123
- Johnson M., Bradford C. 2014. Omega-3, Omega-6 and Omega-9 Fatty Acids: Implications for Cardiovascular and Other Diseases // J Glycomics Lipidomics 4: 123. DOI: 10.4172/2153-0637.1000123
- Farag M.A., Gad M.Z. 2022. Omega-9 fatty acids: potential roles in inflammation and cancer management // Farag and Gad Journal of Genetic Engineering and Biotechnology. DOI: 10.1186/s43141-022-00329-0
- ### REFERENCES
- Akhmerova E.A., Kopylenko L.R., Rubtsova T.E. 2012. Nutritional value of fish caviar // Yu. A. Ovchinnikov Bull. of Biotechnology and physico-chemical biology. V. 8. No. 4. P. 12-20. (In Russ.).
- Baburina M.I., Vostrikova N.L., Ivankin A.N., Zenkin A.N. 2018. Biochemical conversion of natural lipids. Review // Theory and practice of meat processing. V. 3(3). P. 12-26. DOI 10.1323/2414-438X-2018-3-3-12-26. (In Russ.).
- Barabanov V.V., Gorokhov M.N., Shipulin S.V. 2022. On measures to preserve and restore the population of the roach *Rutilus rutilus caspicus* (Jakovlev, 1870) // Fisheries. No. 5. P. 77-81. DOI: 10.37663/0131-6184-2022-5-77-81. (In Russ.).
- Bityutskaya O.E., Lavrinenko O.I. 2024. The technology of fish production. Practical training. Kerch: KGMTU. 71 p. (In Russ.).
- Bichaeva O.N., Musaev M.A. 2008. Features of hematological parameters and microelement composition of some organs of pond fish // Bulletin of AGTU. No. 3 (44). P. 71-74. (In Russ.).
- Radysh I.V., Skalny A.V., Notova S.V., Marshinskaya O.V., Kazakova T.V. 2017. An introduction to elementology. Orenburg: Orenburg State University, EBS ASSV. 184 p. (In Russ.).
- Gladyshev M.I. 2012. Essential polyunsaturated fatty acids and their food sources for humans // Journal of Siberian FU. Biology. V. 5. No. 4. P. 352-386. (In Russ.).
- Dementieva T.F. 1939. Distribution and migration of roaches in the sea // Trudy VNIRO. V. 10. P. 81-128. (In Russ.).
- Jabarov M.I. 2006. Amino acid composition of tissues of various fish species in ontogenesis and under changing environmental conditions. Moscow: VNIRO Publish. 215 p. (In Russ.).
- Eliseev D.S. 1934. Technology of canning fish and other aquatic commercial products. Moscow: Snahtehizdat. 228 p. (In Russ.).
- Eliseeva T., Mironenko A. 2020. Vitamin F – description, effect on the body, the best sources // Journal of Healthy Nutrition and Dietetics. No. 11. P. 78-89. (In Russ.).
- Ivanov V.P., Paltingov V.N., Shipulin S.V. 2023. Fish resources of the Caspian Sea. Moscow: VNIRO Publish. 560 p. (In Russ.).
- Ivantsova M.N., Selezneva I.S. 2020. Fundamentals of the structure and properties of bio-organic compounds. Ural Federal University. Ekaterinburg. Ural FU Publish. 148 p. (In Russ.).
- Information about the nutritional value and caloric content of fish and fish products. 2013. Issue 4. Quality, safety and methods of analysis of products from aquatic organisms. Moscow: VNIRO Publish. 97 p. (In Russ.).
- Informational information about the nutritional value of products from aquatic organisms. 2003. Issue 1. Quality, safety and methods of analysis of products from aquatic organisms. Moscow: VNIRO Publish. 96 p. (In Russ.).
- Kiesewetter I.V. 1973. Biochemistry of raw materials of water origin. Moscow: Pishchevaya prom-st. 424 p. (In Russ.).
- Kim I.N., Kraschenko V.V., Kushniruk A.A. 2019. Safety of food raw materials and foodstuffs. Seafood. In 2 pts. Pt. 1. 2nd ed. Moscow: Yurayt. 229 p. (In Russ.).
- Kim I.N., Kraschenko V.V., Kushniruk A.A. 2020. Safety of food raw materials and foodstuffs. Seafood. In 2 pts. Pt. 2. 2nd ed. Moscow: Yurayt, 208 p. (In Russ.).
- Kleimenov I.Ya. 1962. Chemical and weight composition of fish in reservoirs of the USSR and foreign countries. Moscow: Moskovskaya Pravda. 144 p. (In Russ.).
- Kleimenov I.Ya. 1971. Nutritional value of fish. Moscow: Food industry. 152 p. (In Russ.).
- Lysikov Yu.A. 2012. Amino acids in human nutrition // Experimental and clinical gastroenterology. No. 2. P. 88-105. (In Russ.).
- Makarova G.P., Lykasova I.A., Mukhamedyarova Z.P., Mizhevikina A.S. 2019. Amino acid composition of two-year-old carp meat after application of a silicon-containing preparation // Izvestiya Orenburg SAU. № 6(80). P. 228-231. (In Russ.).
- Makhutova O.N., Gladyshev M.I. 2020. Essential polyunsaturated fatty acids in the physiology and metabolism of fish and humans: meaning, needs, sources // I.M. Sechenov Russian Physiol. Journal. 106(5): 601-621. DOI: 10.31857/S0869813920050040 (In Russ.).
- Skalny A.V., Skalnaya M.G., Kirichuk A.A., Tinkov A.A. 2021. Medical elementology. 2nd ed. Moscow: RUDN University. 199 p. (In Russ.).
- Mezenova O.Ya., Mezenova N.Yu. 2021. Mathematical modeling in food biotechnology. Kaliningrad: KSTU. 103 p. (In Russ.).
- Prozorovskaya N.I. 1952. On the methodology for determining the fat content of roach by the amount of fat on the intestine // Dokl. on biology, systematics and nutrition of fish, on marine chemistry and netting. Iss. 1. Moscow: Pishchepromizdat. P. 75-78. (In Russ.).
- Collection of technological instructions for fish processing. 1992. Vol. 1, 2. Moscow: Kolos. 590 p.

- Skalny A.V. 2010. Microelements: vigor, health, longevity. Moscow: Eksmo. 286 p. (In Russ.).
- Skalny A.V., Rudakov I.A., Notova S.V., Skalny V.V., Burtseva T.I., Baranova O.V., Gubaidulina S.G. 2005. Bioelementology: basic concepts and terms. Orenburg: GO OSU. 50 p. (In Russ.).
- Handbook on the chemical composition and technological properties of fish in inland waters. 1999. / V.P. Bykov ed. Moscow: VNIRO Publish. 207 p. (In Russ.).
- Sytova M.V. 2023. Methodological approaches to assessing the quality of fish food products using sensory analysis: a scientific review // Trudy VNIRO. V. 191. P. 124-141. (In Russ.).
- Sytova M.V., Terpugova N.Yu., Kamshukov S.V. 2025. The results of the biological and statistical analysis of catches, the production of products from cyprinid fish, including from the wobble of the Volga-Caspian region at the present stage // Fisheries science in the 21st century: key areas of development. Mat. III Inter. Scient. and Pract. Conf. and V Schools of Young Scientists and specialists. Moscow: VNIRO Publish. In 2 vol. V. 2. P. 789-794. (In Russ.).
- Sytova M.V. 2019. Historical background // Encyclopedia «Food technologies». Technologies of the fishing industry. In 2 pts. / L.S. Abramova, ed., Moscow: VNIRO Publish. P. 15-39. (In Russ.).
- Tarmaeva I.Yu., Boeva A.V. 2014. Minerals, vitamins: their role in the body. Problems of micronutrient deficiency. Irkutsk: IGMU. 89 p. (In Russ.).
- Terpugova N.Y., Sytova M.V. 2024. Vobla: products, quality, safety, parasitic purity // Modern problems and prospects for the development of the fisheries complex. Holarctic ecosystems in the 21st century. XII Intern. Scient. and Pract. Conf. of Young Scientists and Specialists, Tyumen, November 07-08, 2024. Moscow: VNIRO Publish. P. 137-139. (In Russ.).
- Chemical composition of Russian food products. 2002. Handbook / I.M. Skurikhin, V.A. Tutelyan, ed. Moscow: Delhi print. 236 p. (In Russ.).
- Chaplygin V.A. 2019. Heavy metals in forage organisms and sturgeons (*Acipenser persicus* and *Acipenser gueldenstaedtii*) The Caspian Sea in connection with the habitat conditions. PhD Abstr. in biology. Astrakhan. 23 p. (In Russ.).
- Shulgina L.V., Pavel K.G., Solodova E.A., Yakush E.V. 2023. Lipid profile and dietary value of canned sardine products from iwasi // Food industry. V. 8, No. 3. P. 123-133. DOI: 10.29141/2500-1922-2023-8-3-13. (In Russ.).
- Encyclopedia of nutrition in 10 vol. Vol. 6. Processes occurring in products during processing. 2024. Reference edition / A.I. Cherevko, V.M. Mikhailova ed. 2nd ed. Moscow: KNORUS. 536 p. (In Russ.).
- Yanin E.P. 2010. Paracelsus and his role in the development of iatrochemistry and toxicology // Mercury in the biosphere: ecological and geochemical aspects. Mat. Inter. simp. (Russia, Moscow, GEOHI RAS, September 7-9, 2010). Moscow: GEOHI RAS. pp. 76-84. (In Russ.).
- Dietary protein quality evaluation in human nutrition: Report of an FAO expert Consultation. 2013. Rome: FAO. 66 p.
- Juczyska J., Markiewicz K., Jaworski J. 2006. Interspecific differences in macro- and microelements in fish muscles of six fish species from lakes of the Olsztyn Lake district (North-East of Poland) // Polish journal of food and nutrition sciences. V. 15/56, No 1, pp. 29-35. DOI: 10.4172/2153-0637.1000123
- Johnson M, Bradford C. 2014. Omega-3, Omega-6 and Omega-9 Fatty Acids: Implications for Cardiovascular and Other Diseases // J Glycomics Lipidomics 4: 123. DOI: 10.4172/2153-0637.1000123
- Farag M.A., Gad M.Z. 2022. Omega-9 fatty acids: potential roles in inflammation and cancer management // Farag and Gad Journal of Genetic Engineering and Biotechnology. DOI: 10.1186/s43141-022-00329-0

Поступила в редакцию 30.10.2025 г.
Принята после рецензий 19.12.2025 г.



УДК 639.2.03 (98)

**Экономика, международное сотрудничество и нормативные правовые основы
рыбохозяйственной деятельности**

Перспективы расширения отечественного рыболовства в Арктической зоне Российской Федерации

А.В. Аверкиев

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»), Окружной проезд, 19, Москва, 105187
E-mail: averkiev@vniro.ru

Цель работы: на основании результатов проведённых ВНИРО в 2019 г. экспедиционных исследований доказать перспективность расширения отечественного рыболовства в морях Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ). Расширение добычи в омывающих регионы российской Арктики морях может иметь комплексный эффект: оно не только обеспечит население жизненно необходимыми в условиях высоких широт продуктами на основе животного (рыбного) белка, но и стимулирует развитие сопутствующих производств и отраслей – логистики, хранения, судоремонта, судостроения и т. п.

Материалы и методы: для оценки биоресурсного потенциала морей, омывающих регионы АЗРФ, был применён метод комплексных рыбохозяйственных исследований в рамках экспедиции.

Новизна: варианты расширения отечественного рыболовства в морях АЗРФ, основанные на анализе полученных по итогам комплексных экспедиций данных, ранее не рассматривались.

Практическая значимость: результаты научных изысканий, проведённых учёными ВНИРО в рамках комплексной экспедиции НИС «Профессор Леванидов» в 2019 г., стали основанием для начала промысла минтая в Чукотском море в 2021 г. и рекомендаций по промысловому освоению краба-стригуна опилию в Карском море. Проведение масштабных и регулярных исследований в морях АЗРФ позволит получить больше информации о биоресурсном потенциале морей российской Арктики, что, в свою очередь, снабдит рыбодобывающие организации точной информацией для наращивания объёмов добычи ВБР.

Ключевые слова: Арктическая зона Российской Федерации (АЗРФ); Северный морской путь (СМП); Стратегия развития Арктики; рыбохозяйственный комплекс; водные биологические ресурсы (ВБР); мониторинг морских экосистем.

Prospects for Expanding Domestic Fisheries in the Russian Arctic

Anton V. Averkiev

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

The purpose of the work: based on the results of expeditionary research conducted by VNIRO in 2019, to demonstrate the perspectives of expanding aquatic biological resources harvesting in the seas of the Arctic Zone of the Russian Federation. Expanding harvesting in the seas surrounding the Russian Arctic regions would have a multiple effect: it would provide the population with vital fish protein products in high-latitude conditions and also stimulate development of related industries and sectors, such as logistics, storage, ship repair, and shipbuilding.

Materials and methods: to assess the bioresource potential of the seas washing the regions of the Arctic Zone of the Russian Federation, a method of complex fisheries research was used within the framework of the expedition.

Novelty: options for expanding domestic fisheries in the seas of the Arctic Zone of the Russian Federation, based on the analysis of data obtained from comprehensive expeditions, have not previously been considered. No studies or forecasts for the production of key commercial fish in the Arctic seas have been published in the scientific literature.

Practical significance: the results of scientific research conducted by VNIRO scientists during the expedition of the R/V «Professor Levaniidov» in 2019 formed the basis for the scientific recommendations to start pollock fishery in the Chukchi Sea and snow crab in the Kara Sea in 2021. Conducting large-scale and regular research in the seas of the Arctic Zone of the Russian Federation will provide more information on their bioresource potential, which, in turn, will provide fishing organizations with the scientific advice for increasing the volume of aquatic biological resources harvested.

Keywords: Arctic zone of the Russian Federation (AZRF); Northern Sea Route (NSR); Arctic Development Strategy; fisheries complex; aquatic biological resources; ecosystem monitoring.

ВВЕДЕНИЕ

Подписанный Президентом РФ 26.10.2020 г. Указ «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года¹» обозначил значение Арктической зоны в социально-экономическом развитии Российской Федерации и перечислил меры для обеспечения социальной мобильности, инвестиционной и социально-экономической привлекательности входящих в неё регионов. В числе вызовов, препятствующих поступательному росту данных регионов, Указ обозначил, в том числе, «недостаточный уровень развития системы государственной поддержки завоза в населённые пункты, расположенные в отдалённых местностях, топлива, продовольствия и других жизненно необходимых товаров, обеспечивающей возможность их реализации населению и хозяйствующим субъектам по доступным ценам».

Определён комплекс мер, целью которых является модернизация социальной сферы, развитие транспортно-логистической инфраструктуры, создание благоприятствующих условий для малого и среднего бизнеса, а также «оказание государственной поддержки проектам по созданию и (или) модернизации рыбоперерабатывающих комплексов, предприятий рыболовных и тепличных хозяйств, животноводческих комплексов».

К Арктической зоне Российской Федерации (АЗРФ) относятся 10 субъектов: Мурманская область, Республика Карелия, Архангельская область, Ненецкий АО, Республика Коми, Ямало-Ненецкий АО, Ханты-Мансийский АО – Югра, Красноярский край, Республика Саха (Якутия), Чукотский АО (Рис. 1).

Общая численность населения, проживающего в регионах АЗРФ – порядка 6,2% от общей численности населения Российской Федерации (Рис. 2).

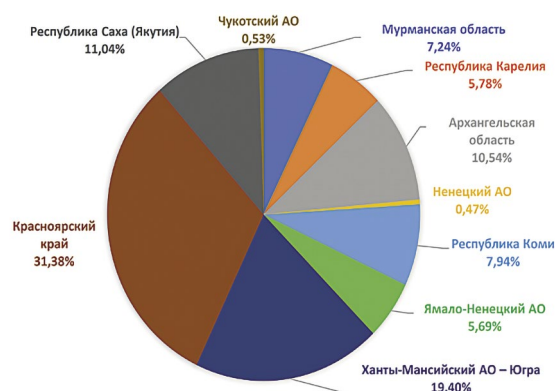


Рис. 2. Соотношение численности населения регионов АЗРФ [Регионы России, 2024³]

Fig. 2. Population ratio of Russian Arctic Zone regions [Regions of Russia, 2024³]

При этом необходимо обратить внимание на неравномерность распределения этого населения. Так,

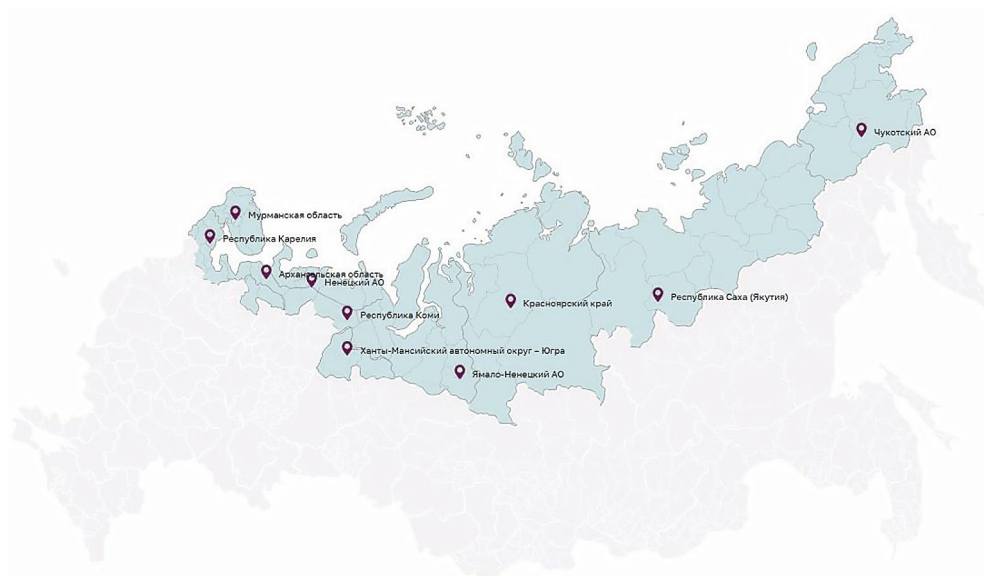


Рис. 1. Арктическая зона Российской Федерации. [Арктическая зона, 2025²]

Fig. 1. Arctic zone of the Russian Federation. [Arctic zone, 2025²]

¹ <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45972>

² Арктическая зона Российской Федерации <https://erdc.ru/about-azrf/>. 18.10.2025.

³ Регионы России. https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Region_Pokaz_2024.pdf. 18.10.2025.

например, из 2,8 млн человек, проживающих в Красноярском крае, 1,4 млн (50%) сосредоточено в Красноярской агломерации, расположенной в 1,3 тыс. км от побережья арктических морей.

К факторам, которые замедляют развитие прибрежной зоны арктических морей России, можно отнести обширность территорий, удалённость от густонаселённых регионов и, как следствие, низкую плотность населения, а также расположение в экстремальных природно-климатических условиях. ВРП регионов АЗРФ формируют добыча полезных ископаемых (Ненецкий АО, ЯНАО), обрабатывающие производства (Красноярский край, Мурманская и Архангельская области), транспортировка и хранение (Архангельская область) [Ханнанова, 2023]. Сельское, лесное и рыболовное хозяйство не являются ключевыми при формировании ВРП регионов АЗРФ за исключением Мурманской области. Но и там на долю сельского, лесного и рыболовного хозяйства приходится только 7,1% ВРП⁴.

Развитие АЗРФ является стратегическим приоритетом, подразумевающим масштабное создание производственных и логистических мощностей. Интенсификация северного судоходства и освоение месторождений неизбежно ведут к притоку трудоспособного населения, что ставит перед государством задачу обеспечения жителей (коренного населения, переселенцев в рамках развития регионов АЗРФ, а также работающих в арктических регионах вахтовым методом) качественными продуктами питания.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исходными данными для оценки биоресурсного потенциала морей, омывающих регионы АЗРФ, послужили результаты экспедиции НИС «Профессор Леванидов» в 2019 г. Обработка полученных результатов проводилась учёными отраслевой науки по разработанным ВНИРО методикам.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ

Происходящие в Арктической зоне климатические изменения, скорость которых в 2-3 раза выше, чем в других регионах земли, а также стремительное уменьшение толщины ледяного покрова арктического льда [Колончин, Бетин, 2022] и, как следствие, освобождение вод Северного морского пути от ледяного покрова, открывают перспективы для экономического развития прилегающих регионов и более сильной интеграции их в общемировую экономику.

С целью ответа на логистические вызовы, ограничивающие развитие АЗРФ, государством реализу-

ется проект, который призван стать системообразующим драйвером – «исторически сложившаяся национальная единая транспортная коммуникация России в Арктике» – Северный морской путь (СМП) [ФЗ от 31.07.1998 г. № 155⁵].

Помочь в освоении Арктики должны мероприятия, реализуемые в рамках Указа «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года¹», в числе которых разработка комплексного плана международных научных исследований (в том числе экспедиционных) состояния арктических экосистем, глобальных климатических изменений и изучения Арктики, а также развития научно-исследовательского флота Российской Федерации, в том числе строительство научно-исследовательских судов в целях изучения Арктики.

Ежегодно государством реализуется комплекс мероприятий по обеспечению территорий Крайнего Севера Сибири, Дальнего Востока и Европейской части России жизненно важными товарами. Объёмы Северного завоза, осуществляемого как авиационным, так речным и морским транспортом, утверждается Министром РФ по развитию Дальнего Востока и Арктики ежегодно.

Анализ плана-графика Северного завоза на 2025 г. (Рис. 3) показывает, что на долю продовольственных товаров первой необходимости приходится порядка 4% от общего объёма доставляемых в арктические регионы грузов. Перечень социально-значимых товаров, включающий мясо (говядина, свинина, бара-



Рис. 3. Объём поставок Северного завоза и доля социально-значимых продуктов питания в 2025 году⁶.

Fig. 3. Volume of deliveries of Northern Delivery and the share of socially significant food products in 2025⁶.

⁵ <http://www.kremlin.ru/acts/bank/12742/page/2>

⁶ https://minvr.gov.ru/upload/iblock/725/5am4ytqp3vzk2zj2gqtazgrx71pryhcr/plan_grafik_sz_2025.pdf

⁴ https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Region_Pokaz_2024.pdf



Рис. 4. Меры по активному включению прибрежных морей в хозяйственное освоение

Fig. 4. Measures for the active inclusion of coastal seas in economic development

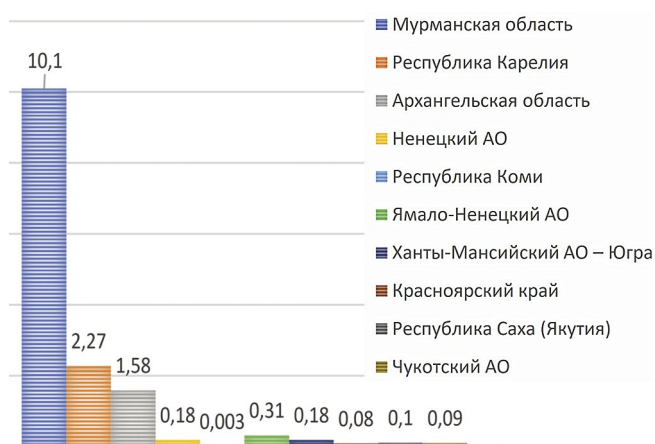
нина, куры), рыбу, сливочное и подсолнечное масло, молоко, яйца, сахар, соль, чай, муку, хлеб, рис, пшено, вермишель, а также овощи (картофель, лук, морковь) и яблоки, определён Постановлением Правительства Российской Федерации от 15.07.2010 г. № 530⁷.

У жителей регионов Крайнего Севера отмечается специфический метаболический профиль, характеризующийся повышенным уровнем свободных жирных кислот в крови, особенно в период полярной ночи. Воздействие низких температур увеличивает энергозатраты организма на терморегуляцию, что диктует необходимость корректировки норм питания.

Согласно медицинским рекомендациям, для населения АЗРФ доля белка в суточном рационе по энергетической ценности (Е%) должна составлять 15-20%. Белок из рыбы и морепродуктов, обладая полным набором незаменимых аминокислот, является наиболее легко усвояемым и адекватным для синтеза собственного белка в условиях холодового стресса⁸.

Наличие береговой линии АЗРФ протяжённостью более 16 тыс. км [Радыш, 2006] позволяет рассматривать биоресурсы арктических морей как фундамент продовольственного самообеспечения (Рис. 4).

Среди регионов арктической зоны РФ бесспорными лидерами по рыбохозяйственной деятельности по итогам 2023 г. выступают Мурманская область (10,1% общенационального вылова), Республика Карелия

Рис. 5. Вклад регионов АЗРФ в общенациональный вылов. Итог 2023 г.⁹Fig. 5. Contribution of the Arctic Zone regions to the national catch. Total for 2023⁹

(2,3%) и Архангельская область (1,6%). Суммарная доля остальных регионов АЗРФ в общенациональном вылове не достигает 1% (Рис. 5).

Аналогичная картина наблюдалась и в 2024 г., когда доля трёх регионов-лидеров суммарно составила 14,3% общенациональной добычи (Мурманская область – 10,64%, Республика Карелия – 2,21%, Архангельская область – 1,43%). На долю оставшихся семи регионов суммарно пришлось 0,93% общероссийского вылова (Рис. 6).

⁷ <http://government.ru/docs/all/73271/>

⁸ https://www.rospotrebnadzor.ru/upload/iblock/789/1.-mr-2.3.1.0253_21-normy-pishchevykh-veshchestv.pdf

⁹ https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Region_Pokaz_2024.pdf

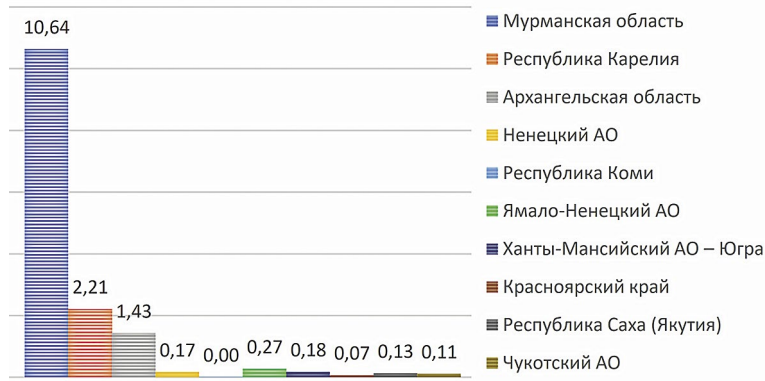


Рис. 6. Вклад регионов АЗРФ в общенациональный вылов. Итог 2024 г.¹⁰

Fig. 6. Contribution of the Arctic Zone regions to the national catch. Total for 2024¹⁰

Описанное распределение вылова связано с рядом объективных причин, таких как недостаточная разведанность запасов, длительная логистика и отсутствие в ряде арктических регионов оборудованных портов, способных обслуживать рыбодобывающие суда и предоставлять необходимые мощности по переработке и хранению продукции.

Определённую, но немаловажную роль играют субъективные факторы со стороны рыбопромышленников, не рассматривающих освоение уже выявленных запасов ВБР, в качестве приоритетных направлений для развития промысла.

Принимая во внимание экстремальные климатические условия, ледовую обстановку, существующую береговую, логистическую инфраструктуру, включая порты, переработку, доступ к финансовым продуктам, возможные направления сбыта, – из арктических районов на сегодняшний день наибольшим потенциалом для развития рыбной инфраструктуры обладают субъекты западной части Арктической зоны России. Как ясно из представленных данных по добыче ВБР за 2023 и 2024 гг., ведущие позиции среди регионов АЗРФ занимает Мурманская область, на долю которой приходится свыше 10% от объёмов общероссийского вылова.

Другие регионы западной части АЗРФ – Архангельская область и Республика Карелия – значительно уступают по показателям добычи и переработки, имеющихся материальных активов и задействованного в добыче и переработке трудоспособного населения [Толикова, Багимов, 2025]. Однако, реализация проекта Северного морского пути позволит в будущем обеспечить восточную часть российской Арктики оборудованной портовой инфраструктурой, перерабатывающими мощностями и, главное, должна обеспечить приток населения, как оседлого, так и работающего вахтовым

методом, что, в свою очередь, создаст потребительский спрос и рынок сбыта для добытых морепродуктов.

С целью оценки рыбохозяйственного потенциала трассы Северного морского пути от Анадыря до Мурманска в 2019 г. была проведена комплексная экспедиция ГНЦ РФ ВНИРО на НИС «Профессор Леванидов».

Исследования охватывали акватории шести морей: Берингова, Чукотского, Восточно-Сибирского, Лаптевых, Карского и Баренцева. Научная программа включала ихтиологические, гидробиологические, океанологические, генетические исследования, наблюдения за морскими млекопитающими и исследования распределения микропластика в океане. Сбор данных осуществлялся методами донных и пелагических траловых съёмов, акустического зондирования и гидробиологического анализа. Учёт биомассы производился по стандартным методикам ВНИРО с экстраполяцией данных на обследованные площади [Орлов и др., 2019, 2020].

Наиболее значимые результаты были получены в юго-восточной части Чукотского моря. К юго-востоку от острова Врангеля, в зоне интенсивного влияния трансформированных тихоокеанских вод, были зафиксированы плотные скопления минтая (*Gadus chalcogrammus*). Расчётная биомасса взрослых особей составила 890 тыс. т. Важно отметить, что в уловах присутствовало значительное количество молоди, что указывает не только на нагульный характер миграции, но и на потенциальную возможность формирования устойчивых самовоспроизводящихся группировок. Сопутствующая ихтиофауна была представлена сайкой (117,4 тыс. т) и палтусовидной камбалой (42 тыс. т), что подтверждает высокую трофическую ёмкость данного района [Орлов и др., 2020].

Исследования в Восточно-Сибирском море и море Лаптевых (Западно-Сибирский сектор) не выявили концентраций рыб, пригодных для промышленного освоения. Низкая продуктивность данных акваторий

¹⁰ https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Region_Pokaz_2025.rar

объясняется суровым гидрологическим режимом и значительным опресняющим воздействием материкового стока. Тем не менее, зафиксированные фоновые показатели были важны для мониторинга долгосрочной динамики биоты.

В Карском море экспедиция подтвердила высокую численность видов как арктического, так и бореального комплекса. Общая оценка биомассы основных промысловых объектов составила:

- Тихоокеанская сельдь (*Clupea pallasii*) – 213,6 тыс. т;
- Камбала-ерш (*Hippoglossoides platessoides*) – 190,2 тыс. т;
- Сайка (*Boreogadus saida*) – 161,4 тыс. т;
- Краб-стригун опилио (*Chionoecetes opilio*) – 2,9 тыс. т.

Высокие показатели биомассы сельди, камбалы-ерша и краба-стригуна опилио свидетельствуют о проникновении новых промысловых видов из Баренцева моря [Орлов и др., 2020].

Результаты Трансарктического перехода 2019 г. – выявление значительных запасов минтая в Чукотском море, сельди и краба-стригуна опилио в Карском море – открывают новые перспективы для расширения районов отечественного рыболовства.

Происходящие климатические изменения арктических морей требуют перехода от эпизодических экспедиций к регулярному мониторингу. Арктические воды следует рассматривать как перспективный растущий резерв водных биоресурсов России, освоение которого должно базироваться на принципах предосторожного подхода и глубокого научного анализа экологических последствий [Бабаян, 2000].

Практическая значимость проведенной ВНИРО экспедиции 2019 г. прямо коррелирует с запуском в 2020 г. промышленного освоения минтая в Чукотском море, суммарный вылов которого за 2021-2025 гг. превысил 63 тыс. т. Анализ показал устойчивую динамику: рост вылова в 2025 г. относительно 2021 г. составил 8%, а пиковые значения зафиксированы в 2022-2024 гг. Бесспорно, что расширение прикладных НИР позволит оперативно снабжать отрасль данными о запасах ВБР (включая сайку, палтуса и краба-стригуна опилио).

Однако, на текущий момент отсутствуют рыбодобывающие организации, имеющие постоянные порты пребывания и локализованные в восточном секторе российской Арктики. Это объективно сдерживает освоение имеющихся ресурсов ВБР арктических морей.

При государственной поддержке – прямой через инвестиции, либо скрытой, через субсидирование – можно повысить заинтересованность рыбодобывающих организаций осваивать найденные учёными ры-

бохозяйственной науки запасы ВБР в Чукотском море и другие, ещё не выявленные промысловые запасы.

Рыбохозяйственный комплекс (РХК) Российской Федерации на протяжении последних десяти лет демонстрирует устойчивую положительную динамику, войдя в число наиболее интенсивно развивающихся секторов национальной экономики. Наблюдаемый рост обусловлен комплексом факторов, включая государственную поддержку, направленную на модернизацию основных фондов отрасли – обновление рыбодобывающего флота и развитие береговой перерабатывающей инфраструктуры. Реализация инвестиционных квот и программ модернизации позволила не только повысить эффективность вылова, но и увеличить добавленную стоимость продукции за счёт развития глубокой переработки на территории страны. Обновление флота обеспечивает возможность работы в удалённых и сложных промысловых районах, повышая безопасность и экологичность рыбопромысловой деятельности. Эти меры позволяют России укрепить свои позиции на мировом рынке ВБР.

Согласно данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН, общемировой объём вылова «дикой» рыбы стабилизировался на уровне 92,3 млн т с конца 1980-х гг. [ФАО, 2024] Из этого объёма 81 млн т приходится на морские ресурсы, а 11,3 млн т – на пресноводные. Доля Российской Федерации в общемировом вылове оценивается в 5,4%. При этом отрасль обладает значительным потенциалом для дальнейшего наращивания объёмов добычи за счёт ввода в эксплуатацию новых промысловых районов и освоения перспективных, ранее не задействованных запасов.

Наличие значительных неиспользуемых или слабоиспользуемых запасов даёт России конкурентное преимущество для дальнейшего наращивания объёмов производства в отличие от ряда других стран, где запасы эксплуатируются на пределе или близки к истощению.

ВЫВОДЫ

1. Несмотря на то, что омывающие регионы АЗРФ моря неоднородны по-своему биоресурсному потенциалу, они обладают базой для хозяйственного освоения. Выявленные в ходе только одной комплексной экспедиции запасы минтая в Чукотском море сейчас эксплуатируются рыбодобывающими организациями и уровень добычи растёт с 2021 по 2025 г. При кратном увеличении числа экспедиций и расширении охваченных исследованиями зон арктических морей можно получить дополнительные сведения о ресурсной базе, разработать эффективные способы добычи

и транспортные коридоры, снизить издержки рыбодобывающих организаций.

2. Рыбохозяйственное освоение омывающих АЗРФ морей позволит наладить поставки важного в условиях Арктики животного (рыбного) белка для удовлетворения потребностей местного населения. При этом поставки выловленной рядом с местами последующей реализации рыбной продукции будет дешевле доставки идентичной готовой продукции из иных регионов за счёт сокращения логистических издержек.

3. Расширение отечественного рыболовства в морях АЗРФ будет содействовать развитию сопутствующей береговой инфраструктуры и обеспечит те арктические регионы, которые на текущий момент слабо вовлечены в рыбохозяйственную деятельность, квалифицированными рабочими местами, как на рыбодобывающих судах и береговых предприятиях, так и в смежных отраслях – судоремонте, логистике и т. п.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

Финансирование

Работа выполнена в порядке личной инициативы, без дополнительного финансирования.

ЛИТЕРАТУРА

- Бабаян В.К. 2000. Предосторожный подход к оценке общего допустимого улова. М. ВНИРО. 192 с.
- Колончин К.В. 2025. Рыбохозяйственная наука в решении вопросов сохранения биоразнообразия, как основы рационального использования водных биологических ресурсов // Рыбное хозяйство. № 3. С. 11-26. DOI:10.36038/0131-6184-2025-3-11-26.
- Колончин К.В., Бетин О.И. 2022. XXI век – век Арктики // Труды ВНИРО. Т. 188. С. 5-12. DOI: 10.36038/2307-3497-2022-188-5-12.
- Орлов А.М., Бензик А.Н., Ведищева Е.В., Гафицкий С.В., Горбатенко К.М., Горянина С.В., Зубаревич В.Л., Кодрян К.В., Носов М.А., Орлова С.Ю., Педченко А.П., Рыбаков М.О., Соколов А.М., Сомов А.А., Субботин С.Н., Таптыгин М.Ю., Фирсов Ю.Л., Хлебородов А.С., Чикилев В.Г. 2019. Рыбохозяйственные исследования в Чукотском море на НИС «Профессор Леванидов» в августе 2019 г.: некоторые предварительные результаты // Труды ВНИРО. Т. 178. С. 206-220. DOI: 10.36038/2307-3497-2019-178-206-220.
- Орлов А.М., Бензик А.Н., Рыбаков М.О., Носов М.А., Горбатенко К.М., Ведищева Е.В., Орлова С.Ю. 2020. Некоторые предварительные результаты биологических исследований в Карском море на НИС «Профессор Леванидов» в сентябре 2019 г. // Труды ВНИРО. Т. 182. С. 200-215. DOI: 10.36038/2307-3497-2020-182-201-215.

Радыш М.Б. 2006. Правовые проблемы делимитации морских пространств Арктики // Вестник РУДН. сер. Юридические науки. № 1 (19). С. 170-176.

Толикова Е.Э., Багимов П.М. 2025. Отраслевые инструменты обеспечения арктической безопасности РФ. // Труды ВНИРО. Т. 201. С. 140-153. DOI: 10.36038/2307-3497-2025-201-140-153.

FAO. 2024. Состояние мирового рыболовства и аквакультуры – 2024. Рим, FAO. DOI 10.4060/cc0461ru.

Ханнанова С.А. 2023. Динамика и вопросы социально-экономического развития регионов Северного морского пути // Вестник Сибирского института бизнеса и информационных технологий. Т. 12. № 4. С. 124-129. DOI: 10.24412/2225-8264-2023-4-124-129.

REFERENCES

- Babayan V.K. 2000. Precautionary approach to assessment of total allowable catch (TAC): Analysis and practical recommendations. M.: VNIRO. 192 p.
- Kolonchin K.V. 2025. Fisheries science in addressing issues of biodiversity conservation as the basis for the rational use of aquatic biological resources. Fisheries. № 3. P. 11-26. // Fisheries. № 3. С. 11-26. DOI: 10.36038/0131-6184-2025-3-11-26. (In Russ.).
- Kolonchin K.V., Betin O.I. 2022. XXI century – the century of the Arctic. // Trudy VNIRO. V. 188. P. 5-12. DOI: 10.36038/2307-3497-2022-188-5-12. (In Russ.).
- Orlov A. M., Benzik A. N., Vedishcheva E. V., Gafitsky S. V., Gorbatenko K. M., Goryanina S. V., Zubarevich V. L., Kodryan K. V., Nosov M. A., Orlova S. Yu., Pedchenko A. P., Rybakov M. O., Sokolov A. M., Somov A. A., Subbotin S. N., Tapygin M. Yu., Firsov Yu. L., Khleborodov A. S., Chikilev V. G. 2019. Fisheries research in the Chukchi Sea at the RV «Professor Levanidov» in August 2019: some preliminary results. // Trudy VNIRO. V. 178. P. 206-220. DOI: 10.36038/2307-3497-2019-178-206-220. (In Russ.).
- Orlov A. M., Benzik A. N., Rybakov M. O., Nosov M. A., Gorbatenko K. M., Vedishcheva E. V., Orlova S. Yu. 2020. Some preliminary results of biological studies in the Kara Sea at RV «Professor Levanidov» in September 2019. // Trudy VNIRO. V. 182. P. 200-215. DOI: 10.36038/2307-3497-2020-182-201-215. (In Russ.).
- Radysh M.B. 2006. International Law Issues of the Maritime Boundary Delimitation of the Arctic. // RUDN Bulletin. Series: Legal Sciences. № 1 (19). P. 170-176. (In Russ.).
- Tolikova E. E., Bagimov P. M. 2025. Industry tools for arctic security of Russian Federation // Trudy VNIRO. V. 201. P. 140-153. DOI: 10.36038/2307-3497-2025-201-140-153. (In Russ.).
- FAO. 2024. The State of World Fisheries and Aquaculture 2024. FAO, Rome. DOI 10.4060/cc0461ru.
- Khannanova S. A. 2023. Dynamics and questions of socio-economic development of the Northern sea route regions // Bulletin of the Siberian Institute of Business and Information Technology. V. 12. № 4. P. 124-129. DOI: 10.24412/2225-8264-2023-4-124-129. (In Russ.).

Поступила в редакцию 05.12.2025 г.
Принята после рецензий 22.12.2025 г.



УДК 595.384:639.28

Информация. Экспедиции ВНИРО

Мониторинг биологического состояния промысловых видов крабов в западной части Берингова моря весной 2025 г.

С.И. Моисеев¹, С.А. Моисеева²

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

² Институт биофизики клетки (ФГБНУ «ИБК РАН»), ул. Институтская, 3, г. Пущино, Московская обл., 142290

E-mail: moiseev@vniro.ru

SPIN-коды: С.И. Моисеев – 3045-4703; С.А. Моисеева – 8619-6734

Цель экспедиционных исследований – оценка биологического состояния промысловых видов крабов в западной части Берингова моря. **Материал и методы.** Данные собраны из улова ловушек во время мониторинга промысла крабов 29.04.-19.06.2025 г. на глубинах 50-379 м. Были исследованы: синий краб (*Paralithodes platypus*), крабы-стригуны опилио *Chionoecetes opilio* и бэрди *C. bairdi*, а также другие виды, встречавшиеся в прилове. Формирование базы данных с параметрами биологического состояния и её обработку проводили по стандартным методам, принятым во ВНИРО. **Результаты.** Для трёх массовых крабов дана биостатистическая информация по функциональным группам. В западной части Берингова моря биологические параметры *P. platypus* и *C. bairdi* соответствуют весеннему периоду, в уловах доминировали старшие размерно-возрастные группы. Из-за малочисленности данных по *C. opilio* биологические параметры в районах исследований недостаточны для адекватной оценки. В Западно-Берингоморской зоне стал часто встречаться камчатский краб (*P. camtschaticus*), а в Карагинской подзоне имеются плотные агрегации этого вида. Для всех видов собраны данные о наполнении конечностей мышечными волокнами и о содержании общего белка в гемолимфе крабов в межлиночный период. **Практическая значимость.** Результаты мониторинга промысла крабов будут учтены при подготовке прогнозных материалов для установления общих допустимых уловов *P. platypus*, *C. bairdi* и *C. opilio* в Западно-Берингоморской зоне и в Карагинской подзоне.

Ключевые слова: Берингово море, синий краб, камчатский краб, крабы-стригуны опилио и бэрди, биология.

Monitoring the biological status of commercial crab species in the western Bering Sea in spring 2025

Sergej I. Moiseev¹, Svetlana A. Moiseeva²

¹ Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), 19, Okružhnoy proezd, Moscow, 105187, Russia

² Institute of Cell Biophysics RAS («ICB RAS»), 3, Institutskaya str., Pushchino, Moscow reg., 142290, Russia

The purpose of the expedition research is to assess the biological status of commercial species crab in the western part of the Bering Sea. **Materials and methods.** The data was collected from the catch of traps during the monitoring of the crab fishery on 29.04.-19.06.2025 at depths of 50-379 m. The following species were studied: blue king crab (*Paralithodes platypus*), snow crab (*Chionoecetes opilio*) and tanner crab (*C. bairdi*), as well as other species found in by-catch. The formation of a database with parameters of the biological state of crabs and its processing were carried out according to standard methods adopted in VNIRO. **Results.** Biostatistical information on functional groups is given for three mass crabs. In the western part of the Bering Sea, the biological parameters of *P. platypus* and *C. bairdi* correspond to the spring period, and their older size and age groups dominated the catches. Due to the paucity of data, the biological parameters of *C. opilio* in the study areas are insufficient for an adequate assessment. The red king crab (*P. camtschaticus*) has become common in the West Bering Sea zone, and dense aggregations of this species are present in the Karaginsk subzone. Data on the filling of limbs with muscle fibers and the total protein content in crab hemolymph between molts were collected for all species. **Practical significance.** The crab fishery monitoring results will be taken into account in the preparation of forecast materials to establish the total allowable catches of *P. platypus*, *C. bairdi* and *C. opilio* in the West Bering Sea zone and in the Karaginsk subzone.

Keywords: the Bering Sea, red king crab, blue king crab, snow crab, tanner crab, biology.

В 2025 г. ФГБНУ «ВНИРО» выполнял мониторинг промысла крабов в западной части Берингова моря (рис. 1). Исследования проходили на глубинах 51-379 м с 29.04 по 19.06.2025 г. на четырёх краболовных судах компаний, входящих в Ассоциацию добытчиков краба.

В Западно-Беринговоморской зоне проходил мониторинг промысла крабов: синего краба *Paralithodes platypus* Brandt 1850 в районе **Ia** (на судах СРТМ «Охотск», РС «Новик») и в районе **Iб** (РС «Капитан Александров»), а краба-стригуна бэрди *Chionoecetes bairdi* Rathbun 1924 в районе **III** (РС «Иркут»). В Карагинской подзоне на судне РС «Иркут» выполнен мониторинг крабов-стригунов опилио *C. opilio* (Fabricius, 1788) в районе **Ila** и *C. bairdi* в районе **Ilb** (рис. 1).

Сбор и обработку данных, характеризующих биологическое состояние крабов, выполняли по стандартным методам ВНИРО с учётом площади облова конусной ловушки, равной 3300 м² [Михайлов и др., 2003; Моисеев, 2003; Бизиков и др., 2006]. Всего выполнено 105 станций (рис. 1), для биологического анализа крабидов отобрано 3079 экз. из 2112 ловушек, а также 5572 экз. крабов-стригунов из 1647 ловушек (табл. 1). У 232 экз. крабов определяли наполнение конечностей мышечной тканью (НКМТ) и содержание общего белка в гемолимфе (табл. 2). На 59 станциях измеряли придонную температуру (Т °С) воды датчиками «Термохрон».

Если в *Карагинской подзоне* **синий краб** встречался крайне редко (лишь 4 экз.), то в *Западно-Беринговоморской зоне* это уже массовый вид. В период 29.04-13.05.2025 г. в районе I (западнее 172°30' в.д.) его вылов проходил на глубине 50-95 м (рис. 1). Температура воды у дна колебалась от -0,6-0,0 °С до +0,8-1,0 °С. Состав улова – 82,4% самцы и 17,6% самки. Среди самцов в уловах доминировали промысловые особи, молодь с шириной карапакса (ШК) <130 мм встречалась очень редко – около 2,5% (рис. 2).

В период 29.05-19.06.2025 в районе III встречаемость вида оставалась низкой, но в уловах резко возросла доля самцов с ШК <130 мм (до 28%) и самок. Состав улова – 60,9% самцы и 39,1% самки. В июне Т °С воды заметно повысилась – до 0,8-2,5 °С, в уловах увеличилась доля самцов предлиночной (27%) и постлиночной (11%) стадий, сходная картина наблюдалась и среди самок (табл. 1). НКМТ и содержание белка в гемолимфе (СБГ) были минимальными на ранних межлиночных стадиях и максимальными на стадиях 3.1-3.2, а на предлиночной стадии 4 параметры уменьшались (табл. 2). Размерный состав самцов синего краба позволяет предположить, что в районе III молодь с ШК от 110 до 129 мм, через 1-2 года вступит в промысловую часть (рис. 2).

Краб-стригун бэрди. *Западно-Беринговоморская зона.* В первой половине мая 2025 г. в районе западнее 172°30' в. д. встречался редко (табл. 1). В июне

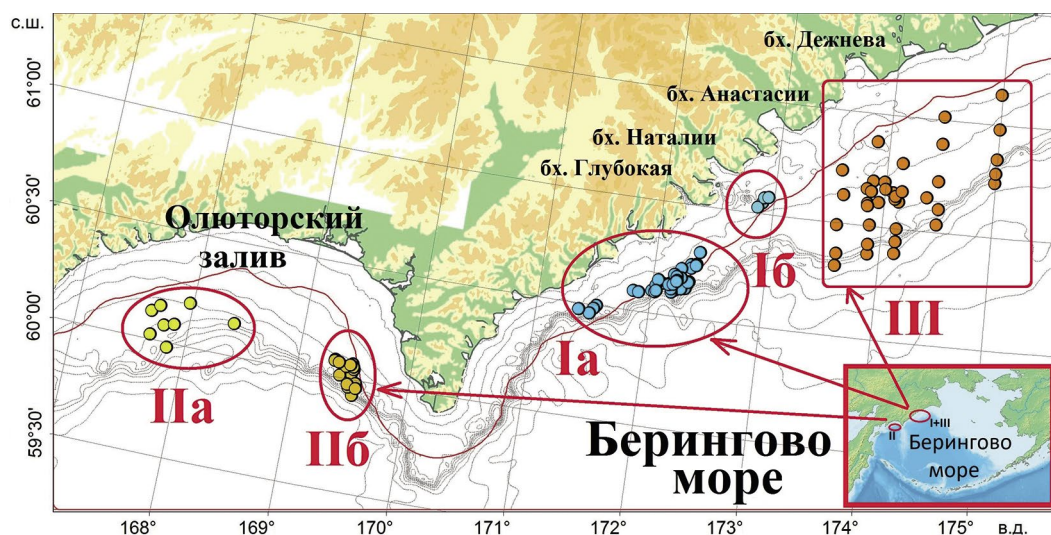


Рис. 1. Карта-схема районов исследования крабов в западной части Берингова моря

Обозначения: мониторинг в *Западно-Беринговоморской зоне* – Ia и Ib *P. platypus* (29.04-13.05.2025 г. и 18-19.06.2025 г.), III *C. bairdi* (29.05-18.06.2025 г.); в *Карагинской подзоне* (14-28.05.2025 г.) – Ila мониторинг *C. opilio* и Ilb *C. bairdi*

Fig. 1. Map diagram of crab research areas in the western part of the Bering Sea

Designations: in the West Bering Sea zone – Ia and Ib monitoring of blue king crab *P. platypus* (29.04-13.05.2025 and 18-19.06.2025), III monitoring of tanner crab *C. bairdi* (29.05-18.06.2025); in the Karaginsky subzone (14-28.05.2025) – Ila monitoring of snow crab *C. opilio* and Ilb tanner crab *C. bairdi*

Таблица 1. Биологические характеристики крабов в районе исследований
Table 1. Biological characteristics of crabs in the research area

Показатели	<i>P. platypus</i>		<i>P. platypus</i>		<i>P. camtschaticus</i>		<i>P. camtschaticus</i>		<i>C. bairdi/opilio</i>		
	Район Ia	Район III	Район I+III	Район IIa+ IIб	Район I+III	Район II	Район II	Район I+III	Район II		
Период	29.04.-13.05.2025	29.05.-19.06.2025	май-июнь	14.05.-28.05.2025	май-июнь						
Площадь, тыс. кв. км	1,2	5,85+0,1	1,3+5,85	0,912+0,303	1,3+5,85						
Ловушки на биоанализ	1067	708+67	1184+708	220	1546						
N, экз. – ♂♂ / ♀♀ ¹	1679 / 358	472 / 303	28 / 0	232 / 7	104 / 1						
♂♂ ШК, мм	от-до	76-219	69-207	160-214	87-239	62-143					
	moda	161-170	141-160	181-200	161-180	116-125					
	aver	167,0	145,5	187,5	175,6	118,6					
промысловые ♂♂ / ШК, мм	%	97,6	71,3	100	86,6	н/в ²					
	aver	168,3	160,0	187,5	182,6	н/в ²					
♀♀ ШК, мм	от-до	72-145	68-156	-	100-130	52					
	moda	101-120	111-120	-	-	-					
	aver	111,2	114,3	-	111,0	52					
Стадии икры ³ , %	юв/ив/иц/нг	1,1/8,4/37,2/-	1,0/12,3/31,9/0,7	-	-/42,9/57,1/-	100/-/-/-					
	иг/лв/мн/ял	13,7/-/39,7/-	9,3/28,2/16,6/-	-	-/-/-/-	-/-/-/-					
Межлиночная стадия или внешнее состояние карапакса, %	♂♀	♂♂	♀♀	♂♂	♀♀	♂♂	♀♀	♂♂	♀♀	♂♂	♀♀
	1-2	-	-	6,8	3,7	3,6	-	36,2	-	-	-
	3.0	0,06	14,2	4,0	10,3	-	-	41,8	71,4	-	-
	3.1	0,1	24,0	0,4	20,6	-	-	18,1	28,6	12,5	-
	3.2	98,1	61,7	61,4	62,8	89,3	-	2,6	-	86,5	100
4	1,7	-	27,3	2,7	7,1	-	1,3	-	1,0	-	

Показатели	<i>C. bairdi/opilio</i>		<i>C. bairdi</i>		<i>C. opilio</i>		
	Район II	Район (I+III)*	Район II**	Район I+III	Район II	Район II	
Площадь, тыс. кв. км	1,215	1,3+5,85	1,215	1,3+5,85	1,215	1,215	
Период	14.05.-28.05.2025	май-июнь	14.05.-28.05.2025	май-июнь	14.05.-28.05.2025	14.05.-28.05.2025	
Ловушки на биоанализ	101	1123+394	101	1123+423	101	101	
N, экз. – ♂♂ / ♀♀ ¹	43 / 0	2971 / 39	1851 / 2	261 / 0	300 / 0	300 / 0	
♂♂ ШК, мм	от-до	80-135	79-164	83-160	66-138	76-137	
	moda	111-120	126-135	126-130	86-95	106-110	
	aver	112,4	129,3	131,1	100,2	105,0	
промысловые ♂♂ / ШК, мм	доля	н/д ²	81,6	97	49,0	70	
	aver	н/д ²	133,1	131,9	113,6	111,6	
♀♀ ШК, мм	от-до	-	69-95	82-89	-	-	
	moda	-	71-80	-	-	-	
	aver	-	81,3	85,5	-	-	
Стадии икры ³ , %	юв/ив/иц/нг	-	2,5/5,0/12,5/-	-/-/-/-	-	-	
	иг/лв/мн/ял	-	57,5/20/-/2,5	50/50/-/-	-	-	
Межлиночная стадия или внешнее состояние карапакса, %	♂♀	♂♂	♀♀	♂♂	♀♀	♂♂	♀♀
	1-2	-	-	0,03	-	-	-
	3.0	-	-	0,1	-	-	1,2
	3.1	44,2	-	20,2	-	17,7	31,8
	3.2	53,5	-	79,2	100	82,2	100
4	2,3	-	0,5	-	0,2	15,7	

Примечания. ¹ – количество ♂♂ и ♀♀ в биоанализах; ² – непромысловый вид; ³ – стадии зрелости: юв – ювенильные самки без икры; ив – икра внутренняя (в гонадах); иц – икра цветная новая, оранжевая (ио), фиолетовая (иф) или другого цвета; нг – икра начального глазка, бурая (иб); иг – икра с глазками, поздняя; лв – личинки выпущены; мн – межнерестовая; ял – яловая; минимальные промысловые размеры: * – 120 мм и ** – 110 мм

Таблица 2. Физиологические и биохимические параметры крабов в районе исследований
Table 2. Physiological and biochemical parameters of crabs in the research area

Пол	Параметр	Стадия	<i>P. platypus</i> ¹	<i>P. platypus</i> ²	<i>P. camtschaticus</i> ³	<i>C. bairdi</i> ¹⁻² УПС	<i>C. bairdi</i> ¹⁻² ШПС	<i>C. bairdi</i> ³ ШПС	<i>C. bairdi</i> / <i>opilio</i>
♂♂	НКМТ, %	1-2	-	25-35 / 30,4	20-37 / 30	-	-	-	-
		3.0	80	-	40-50 / 43	-	80-85 / 83	-	-
		3.1	-	-	80-87 / 86	85-90 / 88,7	80-95 / 88,5	90-98 / 95	85-90 / 88
		3.2	75-97 / 87,0	80-90 / 82,5	85-90 / 87	83-95 / 88	85-98 / 91	85-99 / 94,2	85-90 / 88
		4	40-55 / 48,3	55-67 / 61	-	-	-	-	-
	СБГ, г/100 мл	1-2	-	1,8-2,8 / 2,3	2,7-3,5 / 3,1	-	-	-	-
		3.0	5,2	-	3,1-3,8 / 3,5	-	2,9-3,1 / 3,0	-	-
		3.1	-	-	6,0	4,5-8,0 / 6,8	3,9-6,8 / 5,5	4,5-6,2 / 5,0	4,7-5,0 / 4,9
		3.2	3,2-6,1 / 4,7	3,8-4,4 / 4,1	5,5-6,0 / 5,8	6,8-8,3 / 7,6	3,5-7,4 / 5,4	4-6,1 / 5,0	6.1-6.7 / 6.4
		4	2,7-2,9 / 2,8	1,8-3,7 / 2,8	-	-	-	-	-
♀♀	НКМТ, %	1-2	35-45 / 40*	-	-	-	-	-	-
		3.0	42-55 / 49,1	55-60 / 56,5	40-54 / 47	-	-	-	-
		3.1	50-55 / 52,5	-	85	-	-	-	-
		3.2	60-90 / 75,3	50-85 / 65,7	-	-	-	-	-
		4	57	55-60 / 56	-	-	-	-	-
	СБГ, г/100 мл	1-2	2,5-3,1 / 2,9*	-	-	-	-	-	-
		3.0	3,3-4,6 / 3,7	3,1-3,3 / 3,2	3,1-5,4 / 4,1	-	-	-	-
		3.1	3,3-3,6 / 3,5	-	4,8	-	-	-	-
		3.2	3,2-6,5 / 4,9	2,4-4,1 / 3,2	-	-	-	-	-
		4	2,5	5,3-5,5 / 5,4	-	-	-	-	-

Примечания: отбора проб у самок крабов-стригунов не проводили.

Обозначения: ¹ – период 29.04.-13.05.2025 г. (Западно-Беринговоморская зона); ² – период 29.05.-19.06.2025 г. (Западно-Беринговоморская зона); ³ – период 14-28.05.2025 г. (Карагинская подзона, УПС в пробах не было). * – переходные стадии карапакса от 2 к 3.0.

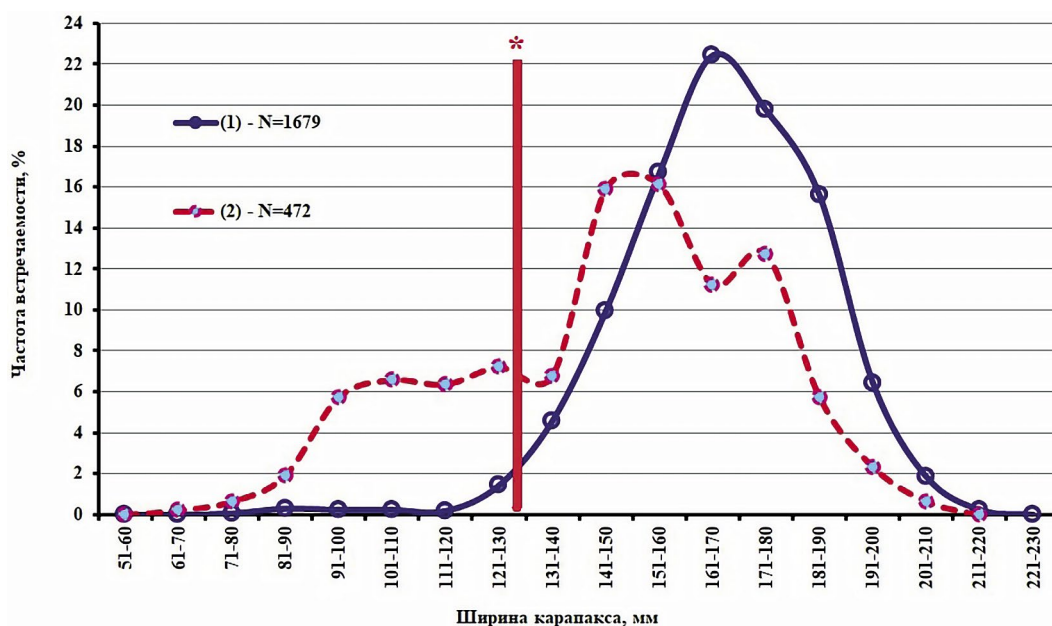


Рис. 2. Размерный состав синего краба в первой половине мая (1) и в июне (2) 2025 г. (* – минимальная промысловая мера)
Fig. 2. Size composition of the blue crab in the first half of May (1) and in June (2) in 2025 (* – minimum fishing size)

мониторинг промысла показал, что многолетнее скопление сохраняется в районе между 173°40' и 174°30' в. д. на глубинах 70-98 м (рис. 3). Основная агрегация крабов занимает площадь 4,5-5,85 тыс. км², на этой акватории в 394 ловушках отмечено 39 самок и 2568 самцов. В июне придонная T °C воды была 0,9-2,5 °C, средняя 1,77 °C. В уловах преобладали самцы с караксом стадии 3,2-79%. Частота встречаемости самок, биологические, физиологические и биохимические

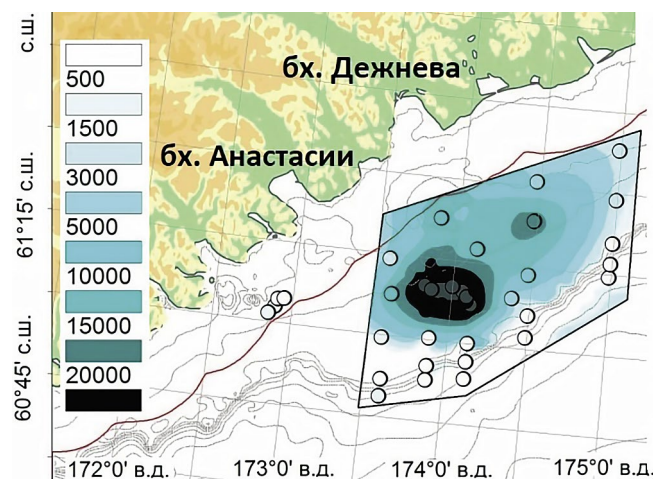


Рис. 3. Пространственное распределение промысловых самцов *C. bairdi* по данным мониторинга в районе III

Fig. 3. Spatial distribution of commercial males of *C. bairdi* according to monitoring data in area III

показатели самцов (табл. 1-2), характеризуют состояние популяции в районе III как достаточно хорошее, которое возможно сохранится в ближайшие 2-3 года.

Карагинская подзона. Промысловое скопление крабов встречалось в Олюторском заливе восточнее 169° в. д. на 85-115 м (район IIб – 303 км²). На участках мониторинга промысла T °C воды у дна была 1,0-1,8 °C. В уловах 98% самцов были широкопальми с разным периодом завершения терминальной линьки и с характерными для них биологическими показателями, физиологическими и биохимическими (табл. 1-2). Исследования в 2025 г. подтвердили, что многолетнее распределение в Олюторском заливе остаётся неизменным и, по-видимому, сохранится в ближайшие 1-2 года.

В запретном для его промысла районе Ia и в промысловом районе III крабы имеют сходные размерные составы (рис. 4), а в Олюторском заливе модальный класс смещён в меньшую сторону. Возможно, это отличие обусловлено спецификой промысла, т. к. в Западно-Беринговоморской зоне его минимальная промысловая мера 12 см, а в Карагинской подзоне 11 см.

Краб-стригун опилио. Западно-Беринговоморская зона. Во время мониторинга встречаемость была низкой. У корякского побережья чаще отмечался на глубинах 70-100 м и дважды на 285 и 303 м. Если в пер-

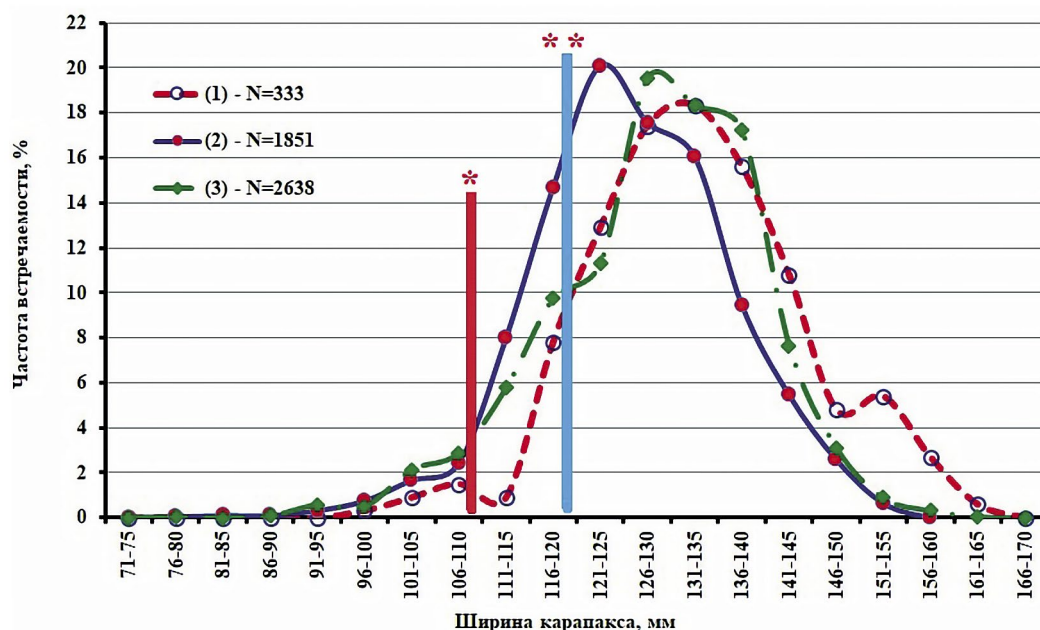


Рис. 4. Размерный состав *C. bairdi* в запретном районе западнее 172°30' в. д. (1), в Олюторском заливе (2) и в районе промысла восточнее 173°30' в. д. (3) в 2025 г. (* – минимальная промысловая мера в районе II; ** – в районе III)

Fig. 4. Size composition of *C. bairdi* in the restricted area west of 172°30'E (1), in the Olyutorsky Bay (2) and in the fishing area east of 173°30'E (3) in 2025 (* – minimum fishing size in area II; ** – in area III)

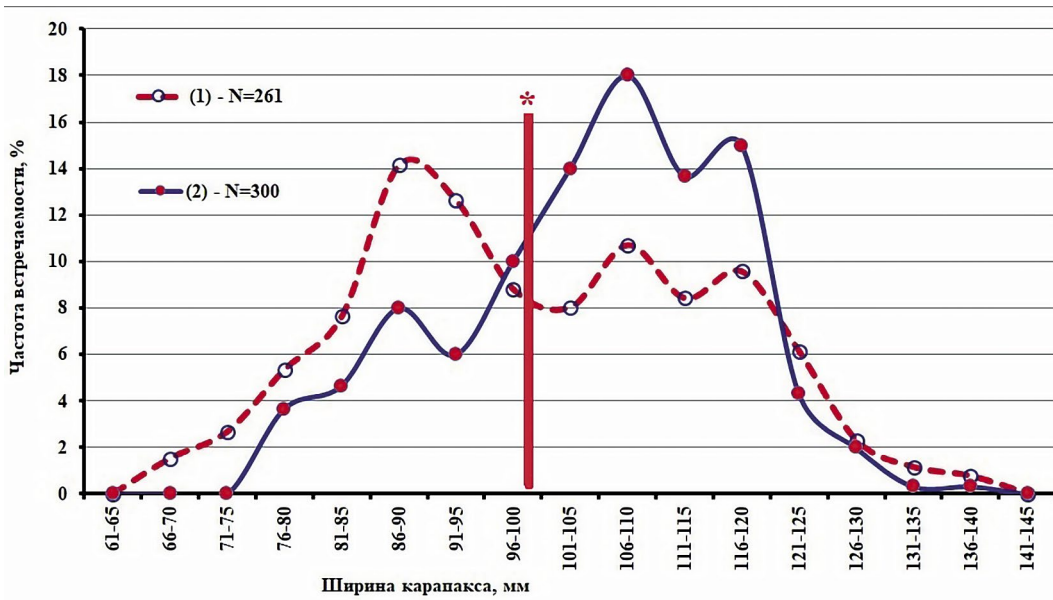


Рис. 5. Размерный состав *C. opilio* в Западно-Беринговоморской зоне (1) и в Карагинской подзоне (2) (* – минимальная промысловая мера)

Fig. 5. Size composition of *C. opilio* in the West Bering Sea zone (1) and in the Karaginsk subzone (2) in 2025 (* – minimum fishing size)

вой половине мая (западнее 172°30' в. д.) уловы самцов с ШК <100 мм были крайне слабыми, то в июньских уловах (район III) встречаемость этой группы среди самцов возросла и она стала доминантной (рис. 5). В целом же, биологические данные (табл. 1-2) типичны для периода май-июнь, но из-за малой выборки собранная информация неопределённая и вариабельная.

Карагинская подзона. На западе Олюторского залива в период 14.05.-28.05.2025 г. краб-стригун опилио чаще наблюдался в узком диапазоне глубин 106-116 м (рис. 1). Пространственное распределение промысловых самцов и молоди с ШК <100 мм были сходными. В размерном ряду преобладали две моды 106-110 и 116-120 мм (рис. 5). Небольшая выборка биологических и других параметров (табл. 1-2) не дают адекватной характеристики его популяции, населяющей район мониторинга промысла.

Тем не менее, в исследованных районах Берингова моря различные группы пререкрутов составляли от 30 до 51% от улова (табл. 1; рис. 5). Через 1-2 года эта молодь, с учётом возможных изменений морфометрических параметров, пополнит промысловую часть популяции краба стригуна опилио.

Морфометрически параметры крабов *C. bairdi* и *C. opilio*

Используя морфометрические промеры крабов уловы дифференцировали на две группы: 1) широ-

копальные самцы (ШПС) – крабы после терминальной линьки и 2) узкопальные самцы (УПС) – крабам предстоит как минимум одна линька. Для выявления в уловах доли крабов, относящихся к ШПС или к УПС, применили коэффициент морфометрической зрелости (Кф%), значение которого находили по соотношению высоты клешни (ВКл) к ШК, выраженных в процентах [Моисеев и др., 2018].

***C. bairdi* в Западно-Беринговоморской зоне.** Морфометрия 1633 экз. самцов показала, что граница коэффициента (Кф%), разделяющего ШПС и УПС проходит по значениям 16,5-17,5%, а в среднем ≈ 17% (рис. 6А). В этом случае функциональный состав улова распределится следующим образом: 1) при промысловой ШК ≥120 мм – ШПС составят 78,9%, а УПС всего 0,3%; 2) при непромысловой ШК <120 мм – ШПС составят 18,4%, а УПС 2,4%.

***C. bairdi* в Карагинской подзоне.** Морфометрию выполнили для 1359 экз. самцов. Граница Кф%, разделяющего ШПС и УПС, проходит по значениям от 17 до 17,7%, но в основном ≈ 17,5% (рис. 6Б). Поэтому, функциональный состав улова распределится так: 1) при промысловой ШК для этой подзоны ≥110 мм – ШПС составят 95,8%, а УПС всего 1,0%; 2) при непромысловой ШК <110 мм – ШПС составят 2,6%, а УПС только 0,6%.

***C. opilio* в Западно-Беринговоморской зоне.** Морфометрия 245 экз. самцов выявила то, что граница Кф% между ШПС и УПС (рис. 6В) имеет широкий диапазон

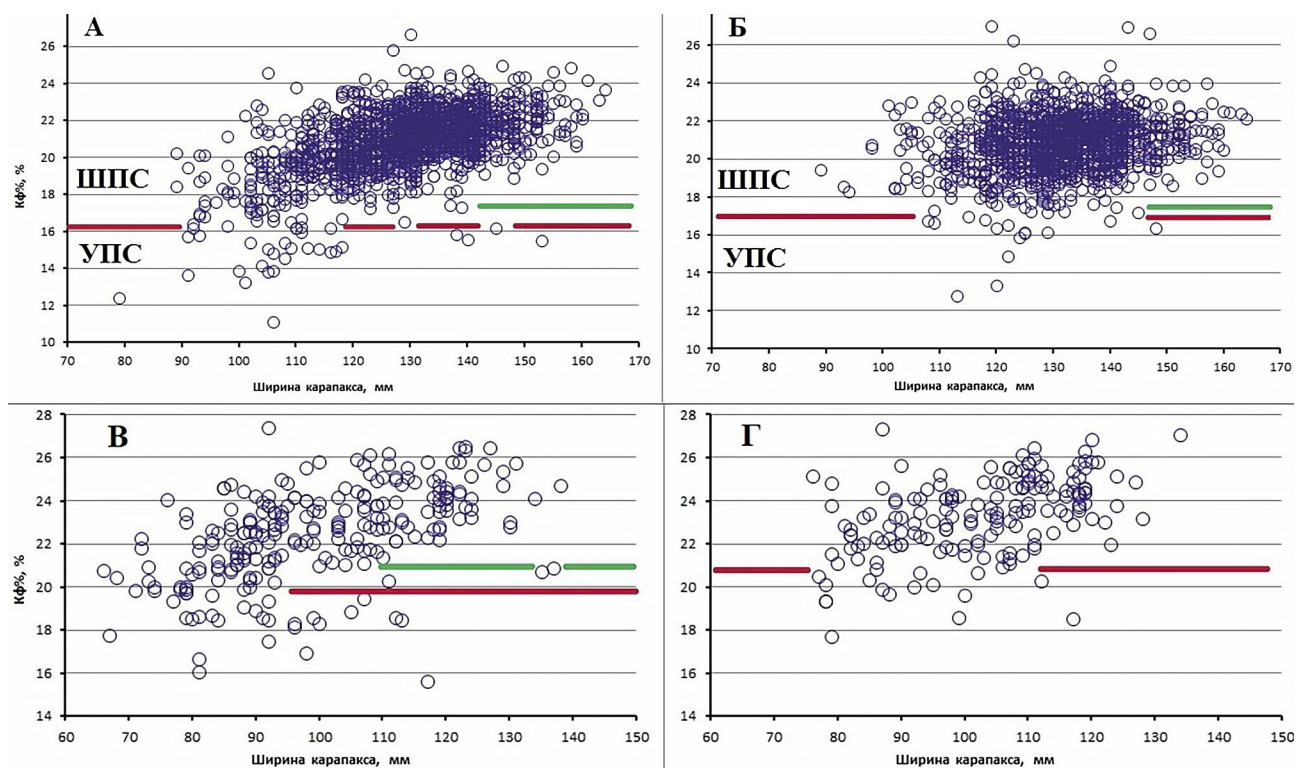


Рис. 6. Дифференциация самцов крабов *C. bairdi* (А; Б) и *C. opilio* (В; Г) на ШПС и УПС по коэффициенту морфометрической зрелости (Кф%), в Западно-Баренцевоморской зоне (А; В) и в Карагинской подзоне (Б; Г)

Fig. 6. Differentiation of male crabs *C. bairdi* (A; B) and *C. opilio* (B; G) into ШПС and УПС by morphometric maturity coefficient (Kf%), in the West Barents Sea zone (A; B) and in the Karaginsky subzone (B; G)

значений 19,8-21%, в среднем Кф% ≈ 20,5%. Тогда функциональный состав улова будет таким: 1) при ШК ≥100 мм – ШПС составят 44,1%, а УПС 2,9%; 2) при ШК <100 мм – ШПС составят 37,5%, а УПС 15,5%.

C. opilio в Карагинской подзоне. Морфометрия выполнена для 170 экз. самцов, она показала, что граница коэффициента (Кф%) между ШПС и УПС проходит по значению Кф% ≈ 21% (рис. 6Г). В этом случае функциональный состав улова распределится так: 1) при ШК ≥100 мм – ШПС составят 55,6%, а УПС 3,6%; 2) при ШК <100 мм – ШПС составят 33,1%, а УПС 7,7%.

Во время исследований сравнительно часто отмечался **гибрид *C. bairdi/opilio***. В Западно-Беринговоморской зоне (районы I и III) отмечено 104 самца и одна ювенильная самка; в Карагинской подзоне (район II) – 43 самца. Биологическое состояние гибридных крабов весной было сходным с другими видами крабов-стригунов (табл. 1-2).

Краб-стригун ангулятус (*C. angulatus* Rathbun 1924). В Западно-Беринговоморской зоне на двух станциях с глубинами 287 и 379 м отмечено четыре широкопалых (Кф% морфометрической зрелости 19,2-20,3) самца, ШК 122-151 мм, средняя 138,8 мм.

Внешнее состояние карапакса соответствовало поздним стадиям 3.2-4.

Краб камчатский. Западно-Беринговоморская зона. Крабы отмечены в диапазоне 68-98 м, в районе 171°15'-172°50' в. д. наблюдалось 26 экз., а на участке 173°35'-174°10' в. д. лишь 2 экз. В уловах были исключительно крупноразмерные самцы, а их биологическое состояние соответствовало весеннему сезону, т. к. крабы были с предлиночным и постлиночным карапаксом (табл. 1-2).

Карагинская подзона. Исследования 2025 г. свидетельствуют о широком распространении популяции камчатского краба в этом районе. В 220 ловушках было 232 экз. самцов и 7 экз. самок, вид часто встречался в районе IIа на 110-145 м и реже в районе IIб на 80-90 м (рис. 1). Биологическое состояние свойственно весеннему периоду, в уловах преобладали крабы с постлиночным карапаксом (стадии 2 и 3.0) – до 78% у самцов и 71% у самок (табл. 1-2). Размерный ряд самцов был с двумя модами 161-180 и 191-200 мм (рис. 7). Высокая частота встречаемости в Олюторском заливе, по-видимому, повлияла на его экспансию в Западно-Беринговоморскую зону.

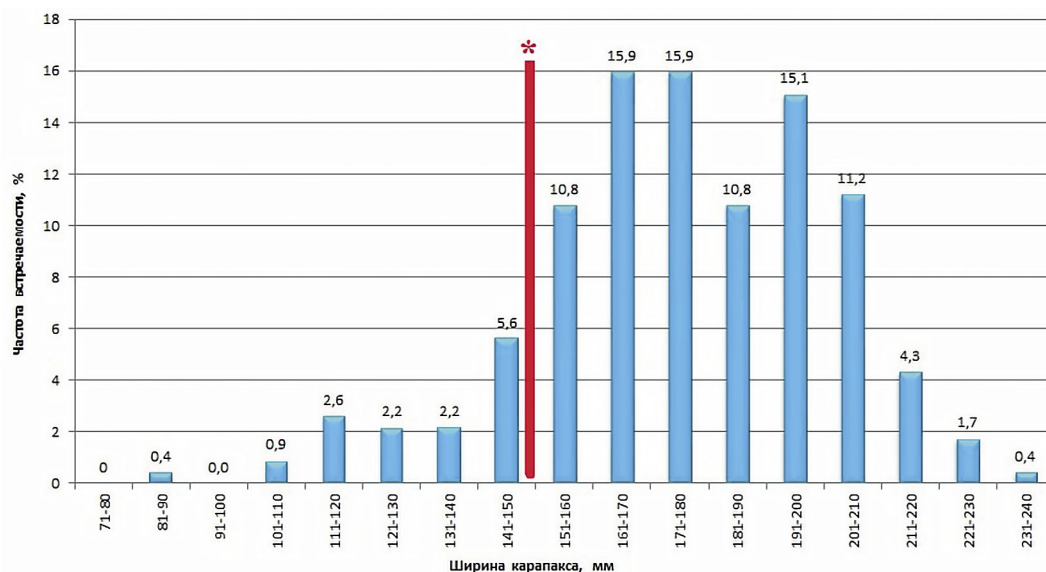


Рис. 7. Размерный состав *P. camtschaticus* в Олюторском заливе Карагинской подзоны в мае 2025 г. (N=232) (* – минимальная промысловая мера)

Fig. 7. The size composition of *P. camtschaticus* in the Olyutorsky Bay of the Karaginsky subzone in May 2025 (N=232) (* – minimum fishing size)

Благодарности

Авторы выражают искреннюю признательность экипажам судов и их администрациям за содействие в сборе актуальной научной информации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

Финансирование

Экспедиционные исследования выполнены в рамках госзадания ФГБНУ «ВНИРО».

ЛИТЕРАТУРА

- Бизиков В.А., Гончаров С.М., Поляков А.В. 2006. Новая географическая информационная система «Картмастер» для обработки данных биоресурсных съёмок // VII Всеросс. Конфер. пром. беспозв. М.: Изд-во ВНИРО. С. 18-24.
- Михайлов В.И., Бандурин К.В., Горничных А.В., Карасев А.Н. 2003. Промысловые беспозвоночные шельфа и материкового склона северной части Охотского моря. Магадан: МагаданНИРО, 284 с.
- Моисеев С.И. 2003. Промыслово-биологические исследования камчатского краба (*Paralithodes camtschaticus*) в январе-марте 2002 г. в прибрежной зоне Варангер-фиорда (Баренцево море) // Труды ВНИРО. Т. 142. С. 151-177.

- Моисеев С.И., Буяновский А.И., Моисеева С.А. 2018. Определение широкопалости у крабов-стригунов рода *Chionoecetes* в полевых условиях // Труды ВНИРО. Т. 172. С. 6-26.

REFERENCES

- Bizikov V.A., Goncharov S.M., Polyakov A.V. 2006. GIS «Chartmaster» – new geographic information system for processing the data of hydrological surveys // VII All-Russian. conf. commers. invertebrate. Moscow: VNIRO. P. 18-24. (in Russ.)
- Mikhailov V.I., Bandurin K.V., Gornichnykh A.V., Karasev A.N. 2003. Commercial invertebrates of the shelf and the continental slope of the northern part of the Sea of Okhotsk. Magadan: MagadanNIRO Publish. 284 p. (in Russ.)
- Moiseev S.I. 2003. Fisher y research of Kamchatka red king crab (*Paralithodes camtschaticus*) from January to March, 2002 in the Varanger-fjord // Trudy VNIRO. V. 142. P. 151-177. (in Russ.)
- Moiseev S.I., Buyanovsky A.I., Moiseeva S.A. 2018. Determination of the terminal molt of the snow and tanner crabs in the field // Trudy VNIRO. V. 172. P. 6-26. (in Russ.)

Поступила в редакцию 27.11.2025 г.



УДК 597.442(282.256.6)

Информация. Экспедиции ВНИРО

Биологическая характеристика улова сибирского осетра в нижнем течении реки Лена в районе острова Тит-Ары в июне 2025 г.

О.Ю. Вилкова¹, С.Н. Жирков²

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

² Якутский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ЯкутскНИРО»), ул. Ярославского, д.32/3, офис 1, г. Якутск, 677018

E-mail: ovilk@mail.ru

SPIN-код: О.Ю. Вилкова – 9376-1781

Цель работы: оценка современного биологического состояния, качественного и количественного состава улова и улова на усилие сибирского осетра при осуществлении промышленного рыболовства в нижнем течении р. Лены.

Материал: данные биологического анализа улова сибирского осетра при осуществлении специализированного промысла нельмы и осетра с применением ставных и плавных сетей во второй–третьей декадах июня 2025 г.

Результаты: уровень воды в р. Лене был выше среднемноголетнего значения. Улов на усилие составлял: ставными сетями – в среднем 0,4 экз./сут., плавными сетями – 1 экз./сплав. Размерный ряд особей осетра варьировал по общей (зоологической) длине *ab* от 64,5 см до 210,5 см, – в среднем 92,2 см; по длине *ac* (до средних лучей хвоста) – от 56,0 до 160,0 см, – в среднем 82,4 см. Вес особей варьировал от 1,0 до 31,6 кг. 98% улова соответствовало установленной для рыбохозяйственного бассейна промысловой мере 62 см (по длине *ac*). Самки и самцы в улове распределялись поровну. Самки в целом крупнее самцов. Самки на стадиях зрелости гонад III-IV и IV составляли 2/3 улова. Размер половозрелых особей указывает на их неоднократное участие в нересте. Это свидетельствует о здоровом состоянии популяции осетра в р. Лене. Коэффициент упитанности осетра по Кларку составлял в среднем 0,46, колеблясь в пределах от 0,36 до 0,69.

Практическое значение: результаты исследований применимы для оценки состояния популяции сибирского осетра в р. Лене, а также корректировки величины общего допустимого улова этого вида.

Ключевые слова: сибирский осётр *Acipenser baerii*, река Лена, промышленный вылов, размерный и половой состав.

Biological characteristics of the Siberian sturgeon catch in the lower reaches of the Lena River near Tit-Ary Island in June 2025

Olga Yu.Vilkova¹, Spartak N. Zhirkov²

¹ Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), 19, Okrzhnoy proezd, Moscow, 105187, Russia

² Yakutsk branch of VNIRO («YakutskNIRO»), 32/3, off. 1, st.Yaroslavsky, Yakutsk, 677018, Russia

The aim: the assessment of the current biological state, qualitative and quantitative composition of the commercial catch and catch per effort of Siberian sturgeon in the lower reaches of the Lena River.

Material: data of the biological analysis of the catch of Siberian sturgeon during the specialized fishery of Nelma and Sturgeon using fixed and drift nets in the second and third ten-day periods of June 2025.

Results: The water level in the Lena River was above the long-term average. The catch per effort was: with set nets – on average 0.4 specimen/day, with drift nets – 1 specimen/drift. The size range of Sturgeon varied in total (zoological) length *ab* from 64.5 cm to 210.5 cm, – on average 92.2 cm; in length *ac* (fork length) – from 56.0 to 160.0 cm, – on average 82.4 cm. The weight of individuals varied from 1.0 to 31.6 kg. 98% of the catch corresponded to the commercial measure of 62 cm (fork length) established for this fishery basin. Females and males were equally distributed in the catch. Females are generally larger than males. Females at the III-IV and IV stages of gonad maturity constituted 2/3 of the catch. The size of sexually mature individuals indicates their repeated participation in spawning. This indicates a healthy sturgeon population in the Lena River. The Clarke body condition index (BCI) of Sturgeon averaged 0.46, ranging from 0.36 to 0.69.

Practical value: the research results are applicable to assessing the status of the Siberian sturgeon population in the Lena River, as well as adjusting the total allowable catch of this species.

Keywords: Siberian sturgeon *Acipenser baerii*, the Lena River, commercial catch, size and weight composition.

Научно-исследовательские работы по мониторингу состояния запаса сибирского осетра в бассейне реки Лена проводились в соответствии с пунктом 291 Перечня приоритетных исследований ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» на 2025 г. «Оценка состояния запасов водных биологических ресурсов в поверхностных водных объектах зоны ответственности Якутского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («ЯкутскНИРО») в 2025 г.» в рамках Государственной работы «Рыболовство в научно-исследовательских и контрольных целях» совместно ЦИ ФГБНУ «ВНИРО» и «ЯкутскНИРО».

В задачи исследований входило определение линейно-весового, полового состава улова осетра и зрелости гонад, а также оценка улова на усилие при осуществлении специализированного промысла нельмы и осетра с применением ставных и плавных сетей.

Объект исследований: сибирский осётр *Acipenser baerii* Brandt, 1869. Наблюдения выполнялись в период с 17 по 29 июня 2025 г. в придельтовой области реки в районе о-ва Тит-Ары (рис. 1).

Исследования осетра осуществлялись при доставке улова в цех приёмки и замораживания. На промысле нельмы и осетра на участке в районе острова Тит-Ары работали две бригады, осуществляющие одновременно постановку сетей и сплавы. Количество ставных сетей – 13-16 единиц у каждой бригады. Длина ставных сетей – 30 м, высота – 5 м, шаг ячеи – 90 мм. Длина плавных сетей – 100-150 м, высота – 7-10 м, шаг ячеи – 90 мм. Застой сетей продолжался от одних до двух суток, в зависимости от погодных

условий. Сплавы проходили круглосуточно, их частота также зависела от погодных условий; продолжительность сплава составляла от 0,5 до 2 часов с несколькими повторностями; длина сплава – 3-4 км. В период наблюдений уровень воды в реке был выше среднего многолетнего, ледоход не закончился. Осётр стабильно присутствовал в улове как плавных, так и ставных сетей. Эффективность орудий лова зависела от уровня воды и морфологии берегового склона, однако улов каждой бригады учитывался суммарно, поскольку в процессе выгрузки дифференциация по орудиям лова рыбаками не проводилась. Улов на усилие рассчитывался со слов рыбаков по заявленному количеству рыбы на каждый тип орудия лова. Измерениям подвергались все выловленные особи осетра. У каждой особи измерялись абсолютная (зоологическая) длина тела ab – от кончика рострума до вертикали конца верхней лопасти хвостового плавника, промысловая длина тела ac – от кончика рострума до проекции конца средних лучей наиболее глубокой средней части выемки хвостового плавника [Правдин, 1966]; каждая особь взвешивалась, в том числе после удаления внутренних органов. Коэффициенты упитанности по Фултону и Кларку определялись по формуле:

$$Q = \frac{100m}{L^3},$$

где m – масса рыбы, г; L – длина рыбы до развилки хвоста, см.

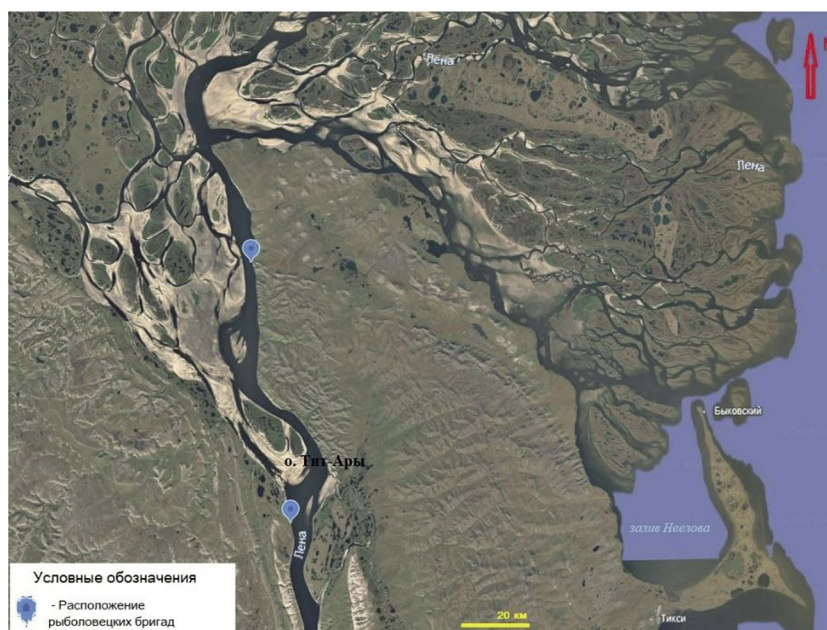


Рис. 1. Район работ и расположение рыболовецких бригад в нижнем течении р. Лены в июне 2025 г.

Fig. 1. Research area and location of fishing crews in the lower reaches of the Lena River in June 2025

Пол рыбы определялся при вскрытии, а в случае выпуска рыбы – шуповым методом. Всего было исследовано 133 экз., из которых вскрыто 115 экз. (более 85% рыб).

В исследуемый период средний улов на усилии ставными сетями у скалистого берега составлял примерно 0,6 экз./сут. У сравнительно пологого берега улов на усилии ставными сетями составлял примерно 0,2 экз./сут. на одну сеть. За один сплав в среднем попадался 1 экз. осетра.

В исследуемый период размерный ряд сибирского осетра по общей длине *ab* варьировал от 64,5 см до 210,5 см; по длине *ac* (до средних лучей хвоста) – от 56,0 до 160,0 см. Далее мы будем оперировать только длиной *ac*, что соответствует промысловой длине. Вес осетра в уловах варьировал от 1,0 кг до 31,6 кг (таблица).

Модальная размерная группа осетра в промысловых уловах – 81-90 см (рис. 2).

Таблица. Длина и вес сибирского осетра в промышленном улове в Нижней Лене в районе о-ва Тит-Ары во второй–третьей декадах июня 2025 г.

Table. Length and weight of Siberian sturgeon in commercial catch in the Lower Lena near Tit-Ary Island in the second and third decades of June 2025

Объём выборки, экз.	Абсолютная длина <i>ab</i> , см		Промысловая длина <i>ac</i> , см		Вес, кг	
	Самки	Самцы	Самки	Самцы	Самки	Самцы
125 (62 самки и 63 самца)	96,5±18,7 74,0-210,5	89,5±10,6 64,5-111,5	86,5±14,5 64,5-160,0	80,0±9,9 56,0-99,5	4,9±4,0 1,8-31,6	3,4±1,3 1,0-6,2



Рис. 2. Размерные группы сибирского осетра в промышленном улове в нижнем течении р. Лены в июне 2025 г.
Fig. 2. Size groups of Siberian sturgeon in commercial catch in the lower reaches of the Lena River in June 2025

Самки и самцы в улове распределялись почти поровну. Размер самок варьировал от 64,5 до 160,0 см, самцов – от 56,0 до 99,5 см. Самки в целом крупнее самцов (рис. 3). Самки на стадии зрелости гонад III-IV и IV составляли 2/3 улова. Размер половозрелых особей указывает на их неоднократное участие в нересте. Это свидетельствует о здоровом состоянии популяции осетра в р. Лене.

Промысловая мера осетра (минимальная длина рыбы от кончика рострума до развилки средних лучей хвоста, разрешённой к промыслу) в р. Лене составляет 62 см. Практически весь улов (98%) промышленными орудиями лова соответствовал данной промысловой мере.

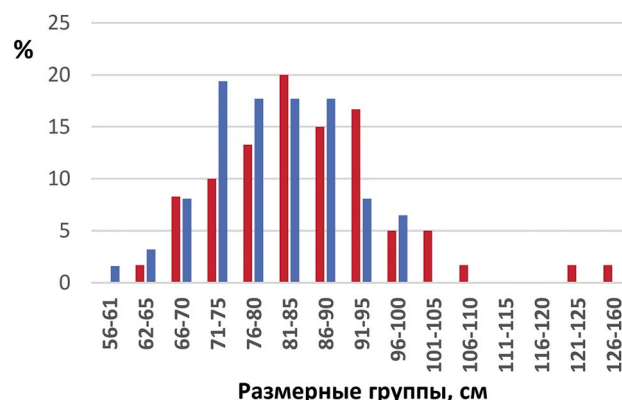


Рис. 3. Процентное соотношение размерных групп самок (красный) и самцов (синий) сибирского осетра в промышленном улове в Нижней Лене в районе о-ва Тит-Ары во второй и третьей декадах июня 2025 г.

Fig. 3. The percentage ratio of size groups of females (red) and males (blue) of Siberian sturgeon in the commercial catch in the Lower Lena near Tit-Ary Island in the second and third decades of June 2025

Коэффициент упитанности осетра по Кларку составлял в среднем 0,46, колеблясь в пределах от 0,36 до 0,69. Для более удобного сравнения с упитанностью рыб в других бассейнах, где нет возможности проводить полный биологический анализ осетровых рыб, был также рассчитан коэффициент упитанности по Фултону. Он составлял в среднем 0,64, колеблясь в пределах от 0,44 до 0,83. Величина этого коэффициента во многом зависит от степени зрелости гонад и количества времени, проведённого рыбой в сетях.

Результаты исследований будут использованы для оценки состояния популяции сибирского осетра в р. Лене, а также корректировки величины общего допустимого улова этого вида.

Благодарности

Авторы благодарят генерального директора ООО «Тит-Ары» Н.И. Маркевича и генерального директора ООО «Дубровка» А.Н. Маркевича за предоставление возможности сбора научного материала непосредственно на месте промысла и помощь в осуществлении проведения данных работ.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО».

ЛИТЕРАТУРА

Правдин И.Ф. 1966. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). М.: Пищ.пром-ть. 246 с.

REFERENCES

Pravdin I.F. 1966. Manual for the Study of Fishes (Principally Freshwater). Moscow: Food industry. 246 p. (InRuss.).

Поступила в редакцию 25.12.2025 г.

