

Труды Всероссийского  
научно-исследовательского  
института рыбного хозяйства  
и океанографии

Свидетельство о регистрации СМИ:  
ПИ № ФС 77-61319 от 07.04.2015

Периодический научный журнал. Основан в 1935 году. Журнал входит Национальную библиографическую БД РИНЦ и ее в ядро; базу RSCI; «Белый список» Минобрнауки; в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата и доктора наук Министерства образования и науки Российской Федерации (1 К), реферируется в Международных базах данных Web of Science (Zoological Record; BioSIS Previews, Biological Abstracts) компании «Clarivate Analytics»; AGRIS (Agricultural Research Information System), ASFA (Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts), CrossRef; Google Scholar и базе данных ВИНИТИ 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)  
Бимиши Р.Дж., сотрудник Тихоокеанской биологической станции, доктор наук, почетный учёный (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 ФГБУН «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 ФГБУН «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 ФГБУН «Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН», д.б.н. (Москва, Россия)  
Криксунов Е.А., профессор кафедры ихтиологии Биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, д.б.н., член-корреспондент РАН (Москва, Россия)  
Кузищин 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)  
Лаптиховский 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)  
Лендьель 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 ФГБУН «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 ФГБУН «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, Ренюон, Франция)  
Рубан Г.И., гл. научный сотрудник ФГБУН «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 Гохуэй, Президент Академии рыбоводства и океанографии 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. 26,5

Тираж 300 экз.

Подписан в печать 16.04.2025 г.

**Адрес редакции:**

105187, Москва, проезд Окружной, 19.

Тел.: 8 (499) 369-92-86

E-mail: [trudy@vniro.ru](mailto:trudy@vniro.ru)

© ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», 2025

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

Periodic scientific journal. Founded in 1935. The journal is included in the National Bibliographic Database of the RSCI and its core; RSCI database; the «White List» of the Ministry of Education and Science; 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 (PhD) and Doctor of science must be published. It is refereed in the international databases Web of Science (Zoological Record; BioSIS Previews, Biological Abstracts) «Clarivate Analytics» company; AGRIS (Agricultural Research Information System), ASFA (Abstracts on Aquatic Sciences and Fisheries), CrossRef; Google Scholar and database VINITI PAS. Published 4 times a year.

## EDITORIAL BOARD

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

## EDITORIAL COUNCIL

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

Моисеев С.И., Сологуб Д.О., Харитонов А.В., Черниенко И.С., Абаев А.Д.  
Ретроспективная динамика индекса состояния запаса камчатского краба в северо-западной части Охотского моря ..... 5

Зимина В.Р., Катугин О.Н.  
Особенности возраста и роста кальмаров *Berryteuthis septemdentatus* и *B. magister* ..... 28

Леман В.Н., Леман А.А.  
Опыт ГИС-картирования нерестилищ и распределения тихоокеанских лососей в модельных реках Западной  
Камчатки с использованием архивных данных ..... 36

Ханайченко А.Н., Муханов В. С.  
Применение цитометрии для анализа качества спермы рыб на примере черноморского калкана ..... 54

Сидоров Л.К., Бизиков В.А., Забавников В.Б., Егоров С.А.  
Оценка воспроизводства беломорской популяции гренландского тюленя в 2023 и 2024 гг. ..... 64

### ВОДНЫЕ БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

Датский А.В.  
Современное состояние запасов и промысла водных биологических ресурсов в российских водах Берингова  
и Чукотского морей и рекомендации по их рациональному использованию ..... 86

Мирзоян А.В., Лужняк В.А.  
Современное состояние запасов проходных и полупроходных рыб Азовского бассейна ..... 127

### АКВАКУЛЬТУРА

Аналикова О.В., Киселева М.Н., Митрюшкина Д.К., Воронов К.Е., Лукина Ю.Н.  
Молекулярно-генетические подходы к изучению устойчивости рыб к болезням ..... 142

### СРЕДА ОБИТАНИЯ ВОДНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

Кочергин А.Т., Окуневич В.А.  
Изменчивость гидрометеорологических условий в Керченской бухте в 2007-2024 гг. ..... 157

Новиков М.А., Васильева Ж.В., Яшкина А.А., Кирдишова Е.А., Исакова Е.А.  
Содержание ртути и органического вещества в донных отложениях Баренцева и Карского морей ..... 166

### РЫБОЛОВСТВО

Недоступ А.А., Ражев А.О., Насенков П.В., Пивоваров А.В.  
Исследование гидродинамических характеристик траловой доски ..... 177

### ИСТОРИЯ

Евсеева Н.В.  
Вера Фёдоровна Сарочан ..... 183

### ИНФОРМАЦИЯ

Моисеев С.И., Харитонов А.В., Клинушкин С.В., Борилко О.Ю., Моисеева С.А.  
Оценка биологического состояния промысловых видов крабов в северо-западной части Охотского моря в 2024 г. ..... 187

Вилкова О.Ю., Васёв А.Б., Петров И.А.  
Размерный состав и распределение сибирского осетра в нижнем течении реки Вилвой в раннелетний период 2024 г. ..... 194

Согрина А.В., Должанская В.В., Терпугова Н.Ю.  
Исследования тихоокеанской трески при проведении ярусного лова в Беринговом море в октябре 2024 г. ..... 198

Гуськова О.С., Ульченко В.А., Александрова У.Н., Подмарёва Т.И.  
Исследование основных промысловых видов рыб в Азовском море при проведении учётной траловой съёмки в  
октябре-ноябре 2024 г. ..... 203

Михайлов А.И., Бобырев А.Е.  
О Международной научно-практической конференции «Современные методы оценки и рационального использо-  
вания водных биологических ресурсов» ..... 211

# CONTENTS

## COMMERCIAL SPECIES AND THEIR BIOLOGY

*Moiseev S.I., Sologub D.O., Kharitonov A.V., Chernienko I.S., Abaev A.D.*  
Retrospective dynamics of the red king crab stock status index in the northwestern part of the Sea of Okhotsk ..... 5

*Zimina V.R., Katugin O.N.*  
Age and growth patterns in squid *Berryteuthis magister* and *B. septemdentatus* ..... 28

*Leman V.N., Leman A.A.*  
A case study of mapping archive data on spawning ground's locations and distribution of pacific salmon in sample rivers of Western Kamchatka ..... 36

*Khanaychenko A.N., Mukhanov V.S.*  
Flow Cytometric Analysis of Fish Sperm Quality: A Case Study of Black Sea Turbot ..... 54

*Sidorov L.K., Bizikov V.A., Zabavnikov V.B., Egorov S.A.*  
Assessment pup production in the harp seal population of the White Sea in 2023 and 2024 ..... 64

## AQUATIC BIOLOGICAL RESOURCES

*Datsky A.V.*  
Current state of reserves and harvesting of aquatic biological resources in the Russian waters of the Bering and Chukchi Seas and recommendations for their rational use ..... 86

*Mirzoyan A.V., Luzhniak V.A.*  
The current state of stocks of anadromous and semi-anadromous fish of the Azov basin ..... 127

## AQUACULTURE

*Apalikova O.V., Kiseleva M.N., Mitryushkina D.K., Voronov K.E., Lukina Y.N.*  
Molecular genetic approaches to the study of fish resistance to diseases ..... 142

## HABITAT OF AQUATIC BIOLOGICAL RESOURCES

*Kochergin A.T., Okunovich V.A.*  
Variability of the hydrometeorological conditions in Kerch Bay in 2007–2024 ..... 157

*Novikov M.A., Vasileva Zh.V., Yashkina A.A., Kirdishova E.A., Isakova E.A.*  
Mercury and organic matter content in bottom sediments of the Barents and Kara Seas ..... 166

## FISHERY

*Nedostup A.A., Razhev A.O., Nasenkov P.V., Pivovarov A.V.*  
Study of the hydrodynamic characteristics of the trawl board ..... 177

## HISTORY

*Evseeva N.V.*  
Vera Fyodorovna Sarochan ..... 183

## INFORMATION

*Moiseev S.I., Kharitonov A.V., Klinushkin S.V., Borilko O.Yu., Moiseeva S.A.*  
Assessment of the biological status of commercial crab species in the northwestern part of the Sea of Okhotsk in 2024 ..... 187

*Vilkova O.Yu., Vasiov A.B., Petrov I.A.*  
Size composition and distribution of Siberian sturgeon in the lower reaches of the Vilyui River in the early summer period of 2024 ..... 194

*Sogrina A.V., Dolzhanskaya V.V., Terpugova N.Yu.*  
Studies of Pacific cod during longline fishing in the Bering Sea in October 2024 ..... 198

*Guskova O.S., Ul'chenko V.A., Aleksandrova U.N., Podmareva T.I.*  
The research of the main commercial fish species in the Sea of Azov during the accounting trawl survey in October–November 2024 ..... 203

*Mikhailov A.I., Bobyrev A.E.*  
International scientific-practical conference «Contemporary methods of assessment and rational exploitation of aquatic biological resources» ..... 211

УДК 595.384:639.28

## Промысловые виды и их биология

# Ретроспективная динамика индекса состояния запаса камчатского краба в северо-западной части Охотского моря

С.И. Моисеев<sup>1</sup>, Д.О. Сологуб<sup>1</sup>, А.В. Харитонов<sup>2</sup>, И.С. Черниенко<sup>3</sup>, А.Д. Абаев<sup>4</sup>

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

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

<sup>3</sup> Тихоокеанский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), пер. Шевченко, 4, г. Владивосток, 690091

<sup>4</sup> Магаданский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («МагаданНИРО»), ул. Портовая, 36/10, г. Магадан, 685000

E-mail: moiseev@vniro.ru

SPIN-коды: Моисеев С.И. – 3045-4703; Сологуб Д.О. – 3793-3311; Харитонов А.В. – 6714-6088; Черниенко И.С. – 4835-9677; Абаев А.Д. – 2475-0050

**Цель работы:** установить относительный индекс промыслового запаса ( $\text{I}\%Z$ ) камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* и качественно оценить динамику состояния запаса в северо-западной части Охотского моря за 1995-2023 гг.

**Материал и методы:** ежегодные оценки промыслового запаса краба *P. camtschaticus*, полученные по данным прямого учёта, преобразовали в относительные индексы запаса ( $\text{I}\%Z$ ), выраженные в процентах к году с максимальной оценкой запаса в ретроспективе. Подобным способом единого масштабирования устанавливали относительные индексы для: общего вылова краба, среднесуточного вылова судна, количества суток, затраченных на общий вылов и другие параметры промысловой статистики.

**Результаты:** в период 1995-2023 гг. у всех относительных индексов промысловой статистики наблюдалась колебания значений от 7-10 до 90-100% с различной инерционностью во времени. Максимальные значения индексов составили: индекс промысловых запасов ( $\text{I}\%Z$ ) в 2018 г.; индекс среднесуточного улова за год ( $\text{I}\%\text{dV}$ ) в 2023 г.; индекс годового общего улова ( $\text{I}\%\text{V}$ ) и другие промыслово-статистические индексы в 2003 г. Минимальные значения индексов зафиксированы в 2003-2004 и 2012-2015 гг.

**Новые данные:** значения индекса промыслового запаса краба (шкала 0-100%) распределили на четыре зоны (квартили), для каждой даётся оценочная характеристика состояния запаса – хорошее, удовлетворительное, неопределённое и негативное. На современном этапе индекс запаса  $\text{I}\%Z$  камчатского краба имеет высокий уровень – 80% от максимального значения 2018 г. и он взаимосвязан с другими индексами промысловой статистики.

**Практическая значимость:** динамика индекса промыслового запаса  $\text{I}\%Z$  камчатского краба, являясь оперативным индикатором, визуально демонстрирует его существенную вариабельность в изучаемом историческом периоде. В настоящий период индекс  $\text{I}\%Z$  свидетельствует о том, что сейчас в северо-западной части Охотского моря промысловый запас камчатского краба находится на стабильно высоком уровне.

**Ключевые слова:** краб камчатский *Paralithodes camtschaticus*, промысловый запас, относительные индексы вылова за 1995-2023 гг., северо-западная часть Охотского моря.

## Retrospective dynamics of the red king crab stock status index in the northwestern part of the Sea of Okhotsk

Sergey I. Moiseev<sup>1</sup>, Denis O. Sologub<sup>1</sup>, Alexander V. Kharitonov<sup>2</sup>, Igor S. Chernienko<sup>3</sup>, Alexey D. Abaev<sup>4</sup>

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

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

<sup>3</sup> Pacific branch of VNIRO («TINRO»), 4, per. Shevchenko, Vladivostok, 690091, Russia

<sup>4</sup> Magadan branch of VNIRO («MagadanNIRO»), 36/10, Portovaya st., Magadan, 685000, Russia

**The purpose of the work.** To establish the relative index of the commercial stock ( $\text{I}\%Z$ ) of the red king crab *Paralithodes camtschaticus* and to qualitatively assess the dynamics of the stock status in the northwestern part of the Sea of Okhotsk for 1995-2023.

**Material and methods.** The annual estimates of the commercial stock of *P. camtschaticus* crab, obtained from direct accounting data, were converted into relative stock indices ( $\text{I}\%Z$ ) expressed as a percentage of the year with the maximum stock estimate in retrospect. Using a similar method of uniform scaling, relative indexes were set for: the total crab catch, the average daily catch of the vessel, the number of days spent on the total catch, and other parameters of fishing statistics.

**Results.** In the period 1995-2023, all relative indices of fishing statistics had fluctuations in values from 7-10 to 90-100% with varying inertia over time. The maximum values of the indices were: the index of commercial stocks ( $\text{I}\%Z$ ) in 2018; the index of average daily catch for the year ( $\text{I}\%\text{dV}$ ) in 2023; the index of annual total

catch ( $\text{I}\%V$ ) and other commercial statistical indices in 2003. The minimum values of the indices were recorded in 2003-2004 and 2012-2015.

**New data.** The values of the crab fishing stock index (scale 0-100%) were divided into four zones (quartiles), each is given an estimated characteristic of the stock condition – good, satisfactory, uncertain and depressive. At the present stage, the red king crab stock index  $\text{I}\%Z$  has a high level – 80% of the maximum value in 2018 and it is interconnected with other indices of fishing statistics.

**Practical significance.** The dynamics of the  $\text{I}\%Z$  red king crab fishing stock index, being an operational indicator, visually demonstrates its significant variability in the studied historical period. At the present time, the  $\text{I}\%Z$  index indicates that now in the northwestern part of the Sea of Okhotsk, the commercial stock of the red king crab is in a stable condition.

**Keywords:** red king crab *Paralithodes camtschaticus*, commercial stock, relative catch indices for 1995-2023, northwestern part of the Sea of Okhotsk.

## ВВЕДЕНИЕ

Северо-западную часть Охотского моря населяет аяно-шантарская популяция камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius, 1815) [Родин, Мясоедов, 1982; Родин, 1985]. Регулярная эксплуатация этой популяции существует с середины-конца 1980-х годов, а начиная с 2000-х годов, промысел становится высокointенсивным [Черниенко, 2010; 2011; 2013].

В Северо-Охотоморской подзоне акватория Аяно-Шантарского района выделяется своими особенностями распределения функциональных групп камчатского краба и концентрацией промысловых скоплений [Родин, Мясоедов, 1982; Родин, 1985; Черниенко, 2010; 2013]. В отношении камчатского краба в Северо-Охотоморской подзоне, в отличие от других северо-тихоокеанских популяций крабоидов, с 90-х годов 20-го века не устанавливалось временного запрета промысла. Промышенный вылов краба камчатского аяно-шантарской популяции ежегодно начинается после полного схода ледового покрова с конца мая – середины июня. Уже к концу июля промыслом осваивается до 95% от объёмов общего допустимого улова (ОДУ).

В России освоение водных биологических ресурсов (ВБР) имеет единый предосторожный подход [Бабаян, 2000], включая оценку запасов различных видов крабов и крабоидов и их изъятие [Алексеев и др., 2017; Буяновский и др., 2023]. Сегодня большинство современных модельных подходов в оценках запаса промысловых популяций строятся в программной среде «R» или комбинируется с «S-Plus» и/или другими подобными математическими инструментами [Шипунов и др., 2012]. В морях России, при установлении объёма ОДУ для различных единиц запаса камчатского краба, применяют разнообразные виды математического моделирования, которые описаны в многочисленных отечественных работах [Михеев, 2003; 2004; Михеев и др., 2012; Буяновский, 2012;

2020; Ильин, Иванов, 2015; Черниенко, 2016; Буяновский, Алексеев, 2017; Бабаян и др., 2018; Черниенко, Черниенко, 2019; Баканёв, 2022].

Наряду с методами математического моделирования, которые имеют достаточно хорошую надёжность оценок, но зачастую предъявляют высокие требования к исходным данным, применяются индикаторные методы. Широко известен трёхзональный метод «светофора» [Halliday et al., 2001; Буяновский, 2020; Буяновский и др., 2023], также имеется сходный подход – четырёхзональная характеристика состояния запаса с установлением зоны относительного индекса численности (биомассы). В обоих подходах дополнительными характеристиками оценок промыслового запаса служат параметры промысловой статистики. Второй подход визуализирует значения нескольких ретроспективных индексов/индикаторов, выполненных в едином масштабе. Интерпретация четырёхзонального индикаторного подхода успешно применена для оценки запасов синего краба *Paralithodes platypus* (Brandt, 1850) в Охотском и Беринговом морях [Моисеев и др., 2021; 2022].

Индекс (он же индикатор) относительной промысловой численности и биомассы запаса ( $\text{I}\%N$  или  $\text{I}\%Z$ ) базируется на данных прямого учёта крабов, собранных во время траловых и ловушечных съёмок, и/или при научном наблюдении (мониторинг) на полигонах (участках) промысла. Относительные индексы разнообразных параметров промысловой статистики прямо или косвенно могут отражать процессы, происходящие с состоянием запаса, и качественно характеризовать как минимум динамику тренда промыслового запаса. К таким параметрам относятся промысловое изъятие/вылов краба за год, среднесуточный вылов краба за год на одно промысловое судно, плотность распределения крабов в районе исследований или промысла, общее количество суток, затраченных за год промысловыми судами на освоение объёмов ОДУ, и другие показатели. Применение относительных ин-

дексов можно визуализировать единым блоком, это позволяет достаточно быстро представить динамику промыслового запаса в ретроспективе и оценить текущее состояние запаса с возможным его трендом на перспективу в 1-2 года.

Ввиду того, что аяно-шантарская популяция населяет большое пространство прибрежных вод северо-западной части Охотского моря от залива Александры и до 147-150° в. д. на севере (рис. 1), то не всегда удаётся выполнить полномасштабные рыбохозяйственные исследования в границах ареала этой популяции. В связи с этим возрастаёт роль различных промыслово-статистических параметров как индикаторов, отражающих состояние промысловой части эксплуатируемой популяции и одновременно служащих дополнительными факторами к существующим ретроспективным результатам прямого учёта камчатского краба с 1995 по 2023 гг.

**Цель работы.** На основе анализа данных о величине промыслового запаса аяно-шантарской популяции камчатского краба и данных промысловой статистики за 1995-2023 гг. оценить потенциал четырёхзонального подхода к относительному индексу промыслового запаса ( $\%Z$ ) в качестве индикатора, характеризующего текущее и ожидаемое состояние рассматриваемой единицы запаса.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В северо-западной части Охотского моря рыбохозяйственные исследования аяно-шантарской популяции камчатского краба с конца прошлого века проводятся регулярно. Наиболее полно промыслово-статистический материал собран во время учётных

ловушечных научных съёмок и мониторинга промысла камчатского краба с 1995 по 2023 гг. (рис. 1 А). В последние годы освоение объёма ОДУ камчатского краба происходит на двух небольших по площади участках с плотными промысловыми скоплениями. Первый участок расположен от района пос. Аян до мыса Борисова или м. Укой, а второй – на акватории возле острова Большой Шантар (рис. 1 Б). Поэтому, данные, собранные во время мониторинга промысла камчатского краба в этом районе, несут важную промыслово-статистическую информацию для оценки текущего состояния промысловой части аяно-шантарской популяции этого вида.

Сбор и обработка биологических и промыслово-статистических данных за 1995-2023 гг. выполнены по общепринятым методам рыбохозяйственных исследований [Родин и др., 1979; Левин, 2001; Лысенко, 2001; Михайлов и др., 2003; Моисеев, 2003; Соколов, 2003; Бизиков и др., 2006; Моисеев и др., 2021; 2022]. Материалы, собранные авторами во время морских экспедиций и из открытой печати, составляют ретроспективную базу данных по биомассе запаса камчатского краба. Эта база была дополнена значениями шести промыслово-статистических параметров из ежедневных суточных судовых донесений (ССД) отраслевой системы мониторинга (ОСМ) Росрыболовства с использованием программного обеспечения ФГБНУ «ВНИРО» – «Мониторинг 2012 (ВНИРО)». В отдельные годы – 2003-2004 и 2013-2014 гг. указывается по две оценки запаса, где первое значение дано только для Аяно-Шантарского района исследований, а второе значение дано для всей Северо-Охотоморской подзоны, оно экспертное и сделано по аналогии распре-



Рис. 1. Схема района сбора данных и плотность распределения камчатского краба в северо-западной части Охотского моря (А – ловушечная съёмка 2018 г.; Б – расположение судов на участках промысла I и II)

Fig. 1. Diagram of the data collection area and distribution density of the red king crab in the northwestern part of the Sea of Okhotsk (A – trap surveys in 2018; B – the location of vessels in fishing areas I and II)

деления краба в Аяно-Шантарском районе (табл. 1). Следует отметить, что данные по оценке запаса за 2002-2006 гг. представлены с учётом корректировки площади облова ловушки с 1608-1513 м<sup>2</sup> на унифицированную площадь 3300 м<sup>2</sup>.

С 1995 по 2018 и в 2020 гг. оценку запаса камчатского краба аяно-шантарской популяции выполня-

ли по данным прямого учёта с применением метода сплайн-аппроксимации в программе «ГИС КартМастер» [Бизиков и др., 2006]. Для 2019 и 2021-2022 гг. оценку запаса (численности) находили как среднюю величину по двум смежным или по двум предыдущим годам. В 2023 г. промысловую биомассу оценили, исходя из численности крабов по данным научных на-

**Таблица 1.** Ретроспективная динамика основных промысловых показателей камчатского краба в Северо-Охотоморской подзоне в 1995-2023 гг.

**Table 1.** Retrospective dynamics of the main fishing and statistical indicators of the red king crab in the North Okhotsk subzone in 1995-2023

Год	Запас	ОДУ	Вылов	Средне-суточный вылов	Количество промысловых суток	Число пром. судов	Площадь промысла	Интенсивность удельного изъятия с пром. площади
	тыс. т	т	т	т	судо-сутки	N	тыс. км <sup>2</sup>	кг/км <sup>2</sup>
1995*	8	500	499,9	—	—	—	—	—
1996*	8	500	350,6	—	—	—	—	—
1997	19,0	450	411,0	—	—	—	—	—
1998	19,0	600	325,3	—	—	—	—	—
1999	19,7	1970	419,3	—	—	—	—	—
2000	14,68	2000	207,0	—	—	—	—	—
2001	14,16	1800	1367,3	—	—	—	—	—
2002	6,22	2640	2535,9	—	—	—	—	—
2003*	1,94 / 5,77	3179	2777,5	1,45	1916	35	40,5	68,6
2004*	3,99 / 5,77	1280	477,8	1,999	239	15	20,5	23,3
2005	9,45	740	675,5	0,903	598	19	23,6	23,3
2006	10,96	948	824,4	0,873	919	20	38,4	19,5
2007	10,41	1600	1424,6	1,208	921	23	34,3	36,0
2008	9,31	2078	1306,8	0,82	1257	32	26,7	39,8
2009	8,53	2110	1822,8	1,283	1245	26	31,2	52,3
2010	7,36	1633	1469,2	1,123	1052	23	26,5	52,0
2011	5,77	1205	1182,8	1,213	969	19	33,4	33,7
2012	3,42	1050	1014,4	1,178	842	21	22,5	42,3
2013*	1,58 / 3,26	1050	1035,4	1,286	571	20	20,2	47,6
2014*	2,68 / 3,35	1091	1076,9	1,286	561	17	19,5	53,8
2015	5,54	410	373,7	2,252	137	6	12,9	29,0
2016	8,71	553	503,9	2,199	197	10	12,5	40,3
2017	11,17	590	566,0	2,205	234	10	15,7	36,1
2018	21,20	590	569,3	2,372	201	16	10,4	54,7
2019	18,86	767	712,9	2,964	211	19	12,1	58,9
2020	16,51	767	680,9	2,877	217	23	11,0	61,9
2021	17,68	767	701,3	4,335	155	17	10,8	64,9
2022	17,10	890	797,2	4,364	184	22	9,9	80,5
2023	16,7	890	837,1	4,53	191	18	8,6	97,3

Примечание. \* – год, когда данные прямого учета получены только для Аяно-Шантарского района

блюдателей на промысле в Аяно-Шантарском районе. На площади 2,56-2,96 тыс. км<sup>2</sup> численность промысловых самцов составляла 4,3-4,534 млн экз., а их средний размер был 148,3 мм [Моисеев, Моисеева, 2024]. В этом случае, при среднем весе промыслового самца 1,64 кг, биомасса краба только в районе научного мониторинга была до 7,1-7,44 тыс. т. Кроме этого, необходимо учесть, что по данным ССД ОСМ Росрыболовства, основной район добычи крабов в 2023 г. проходил на площади 5,5 тыс. км<sup>2</sup> возле о. Большой Шантар, а с учётом вылова краба за его пределами (участок II, см. рис. 1 Б), общая площадь составляла до 8,6 тыс. км<sup>2</sup>. Одиночные выбросы данных о локации судов за изобатами 100-150 м не учитывались, т. к. суда в это время были на переходах с промысла (подобный подход применён для установления промысловой площади – площади, на которой располагались ежегодно краболовные суда с 2003 по 2023 гг.). Поэтому, только в районе работы краболовных судов в 2023 г., промысловый запас камчатского краба был не менее 16,7 тыс. т. Необходимо учитывать, что по данным учётных съёмок 2018 и 2020 гг. 93-97% промыслового запаса краба приходилось на Аяно-Шантарский район в пределах 54-57° с. ш. (см. рис. 1 А).

В настоящей работе используются относительные индексы (индикаторы) как оценочные показатели, характеризующие состояние промысловой единицы запаса на определённом историческом отрезке. Для каждого конкретного промыслово-статистического параметра устанавливали индекс, выраженный в процентах (%) к его максимальному значению, наблюдавшемуся за изучаемый исторический период. Для аяно-шантарской популяции камчатского краба предлагается рассмотреть семь параметров (см. табл. 1) и преобразовать их в относительные промысловостатистические индексы. Алгоритм расчёта относительных индексов ранее был применён для оценки состояния двух единиц запаса синего краба – в заливе Шелихова (Охотское море) и в западной части Берингова моря [Моисеев и др., 2021; 2022]. Относительные индексы (индикаторы) рассчитываются по единому формату уравнения (1):

$$IPar\% = (a / Prmax) \times 100\%, \quad (1)$$

где:  $a$  – значение одного из приведённых ниже семи параметров, полученное в определённый год (см. табл. 1);  $Prmax$  – максимальное значение одного из семи параметров, наблюдавшееся в ретроспективе 1995-2023 гг.

Исходя из продолжительности сбора данных, значения семи параметров можно разделить на две

группы, а значения параметров переформатировать по уравнению (1) в относительные индексы.

Первая группа это два параметра с наибольшим периодом наблюдений 1995-2023 гг.:

1) промысловый запас, он модифицирован в индекс оценённого промыслового запаса на конкретный год ( $IPZ$ );

2) общий официальный годовой вылов, он трансформирован в индекс общего годового вылова ( $IV$ ).

Для объёмов ОДУ индекс не устанавливали, т. к. официальное освоение объёмов ОДУ за изучаемый период обычно было 70-90% и более (см. табл. 1).

Вторая группа – данные по пяти параметрам за 2003-2023 гг.:

1) средний суточный вылов за промысловый сезон или суточный вылов за календарный год на одно добывающее судно, он модифицирован в индекс среднесуточного вылова за год ( $IdV$ );

2) количество судо-суток (суток на лову/промысле) за год или суток, затраченных промысловыми судами на освоение годового объёма ОДУ, оно преобразовано в индекс промысловых судо-суток за год ( $IdD$ );

3) количество промысловых судов, осуществлявших специализированный лов единицы запаса (взяты из ССД), оно преобразовано в индекс количества промысловых судов за год ( $IdK$ );

4) общая промысловая площадь, занятая краболовными судами в промысловый период (ежегодная локация судов взята из ССД и строилась в ГИС Карт-Мастер, точки с локацией на глубинах более 125-150 м не учитывали, т. к. глубже 100-125 м промысл отсутствовал), она модифицирована в индекс общей промысловой площади ( $IS$ );

5) интенсивность изъятия краба с промысловой акватории (площади) на которой проводился промышленный лов краба в конкретный год, устанавливали как общий ежегодный вылов краба, поделённый на общую площадь, занимаемую краболовными судами за этот же год, выраженного в кг/км<sup>2</sup>, она преобразована в индекс средней плотности изъятия крабов с единицы площади ( $IP$ ) или индекс удельного изъятия краба с площади промысла.

Первоначально для каждого из семи параметров был установлен год с максимальным значением параметра в абсолютных величинах за весь ретроспективный период наблюдения с 1995 по 2023 гг. (см. табл. 1).

**2003 г.** В этот год с максимальными значениями было четыре параметра. Это:

1) официальный вылов краба за год – 2,8 тыс. т (из-за отсутствия достоверных данных искажение отчётной информации и ННН-промысел не учитывали);

2) общее количество судо-суток, затраченных на годовое освоение ОДУ, – 1916 суток;

3) общее число краболовных судов, ведущих промысел краба, – 35;

4) общая промысловая площадь, на которой работали краболовные суда, – около 40,5 тыс. км<sup>2</sup>.

**2018 г.** В этот год наблюдалась максимальная промысловая биомасса камчатского краба – 21,2 тыс. т.

**2023 г.** В этом году с наибольшими величинами были два параметра.

Это:

1) среднесуточный вылов краболовных судов за год – 4,53 т/сутки;

2) интенсивность изъятия краба с единицы промысловой площади или удельная плотность изъятия до 97,3 кг/км<sup>2</sup>.

Таким образом, оценка промыслового запаса и значения шести промыслово-статистических параметров по камчатскому крабу за 1995-2023 гг., взятые из ССД, были переформатированы по уравнению (1) в относительные индексы или индикаторы, а далее все значения индикаторов были графически визуализированы и анализировались в едином масштабе (в %). Поэтому, состояние промыслового запаса камчатского краба аяно-шантарской популяции в ретроспективе предлагается оценивать по значению индекса промыслового запаса ( $I\%Z$ ) и его соответствуанию одной из четырёх зон [Моисеев и др., 2021; 2022]. Диапазон значений индексов от  $>0$  до 100% будет поделён на 4 равные части (зоны) с интервалом по 25%, что соответствует одному квартилю. Однократное и/или продолжительное присутствие индекса запаса ( $I\%Z$ ) в одной из зон квартильного подхода позволяет дать ему качественную характеристику [Моисеев и др., 2021; 2022]. Для каждой зоны квартильного подхода устанавливается следующая краткая оценочная характеристика:

**Q1** – зона со значениями индекса промыслового запаса ( $I\%Z$ ) более  $>75\%$ , здесь максимальное исторически зафиксированное значение составляет 100%, в этой зоне состояние запаса характеризуется как **хорошее** и/или очень хорошее;

**Q2** – зона со значениями индекса промыслового запаса ( $I\%Z$ ) от более  $>50$  до  $\leq 75\%$ , в этой зоне состояние запаса **удовлетворительное** и/или стабильно удовлетворительное;

**Q3** – зона со значениями индекса промыслового запаса ( $I\%Z$ ) от  $>25$  до  $\leq 50\%$ , в этой зоне состояние запаса **неопределенное**, здесь условно можно выделить значения индекса промыслового запаса  $I\%Z$  в пределах от 26 до 30-35%, когда состояние запаса оценивается как **неудовлетворительное** и **напряжённое** (состояние запаса может развиваться в сторону роста или обрушиться в негативную зону);

**Q4** – зона со значениями индекса промыслового запаса ( $I\%Z$ )  $\leq 25\%$ , здесь состояние запаса **негативное**, эту зону можно подразделить на два диапазона: а) при значениях 25-15% состояние оценивается как **крайне неудовлетворительное**, б) при значениях  $<15-10\%$  состояние запаса **негативное** (присутствие промыслового запаса в этой зоне в течение несколько лет можно оценивать как депрессивное).

В результате зонирования не только значения промыслового запаса, но и любой другой относительный индекс в ретроспективе ежегодно попадает в один из четырёх квартилей от  $Q_1$  (наивысший) до  $Q_4$  (самый низкий). Система квартилей позволяет визуализировать динамику индексов и относительно объективно и качественно оценить уровень промыслового запаса на различном по продолжительности историческом отрезке. Так если индекс запаса  $I\%Z$  на определённом историческом отрезке (от 2-3 лет) увеличивался, например, внутри второй зоны  $Q_2$  и переходил в зону  $Q_1$ , то индекс  $I\%Z$  соответствовал переходному состоянию  $Q_2-Q_1$ , а запас соответственно характеризуется как **растущий**. Если происходил обратный сценарий, когда индекс запаса за определённый ретроспективный период снижался в первой зоне  $Q_1$  и переходил в зону  $Q_2$ , то индекс  $I\%Z$  соответствовал переходному состоянию  $Q_1-Q_2$ , а запас соответственно характеризуется как **снижающийся**. Подобная ретроспективная динамика индекса промыслового запаса происходит и между другими зонами с характеристиками запаса, как снижение или как рост. Любое изменение между значениями индекса запаса более 20-30% через 1-2 года учитывается как критическое падение индекса  $I\%Z$ , а подобный рост характеризуется как быстрый рост.

В виду того, что значения относительных индексов будут установлены в едином масштабе (%), то их ежегодное значение будет соответствовать одной из четырёх зон ( $Q_1-Q_4$ ). Поэтому, оценку промыслового запаса и его взаимосвязь с промыслово-статистическими индексами можно определять как ежегодный совокупный или интегральный индекс ( $I\%intg$ ) в трактовке данной А.И. Буяновским с авторами [2023]. Оценка интегрального индекса рассчитывается как среднее арифметическое значений относительных индексов в год наблюдений. Значение совокупного индекса ( $I\%intg$ ) обозначается в процентах и соответствует одному из квартилей  $Q_1-Q_4$  с соответствующей для него характеристикой.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Применив к различным единицам параметров промысловой статистики принцип единого масштабирования, был сформирован блок из семи относительных индексов ( $\text{I}\%Z$ ,  $\text{I}\%V$ ,  $\text{I}\%dV$ ,  $\text{I}\%D$ ,  $\text{I}\%K$ ,  $\text{I}\%S$ ,  $\text{I}\%P$ ). Это позволяет строить ретроспективную динамику в едином графическом формате, но из-за перегруженности рисунка его восприятие будет затруднено, а интерпретация анализа визуализированной информации излишне сложной. Поэтому, исходя из практики формирования относительных индексов, полученных для двух промысловых популяций синего краба [Моисеев и др., 2021; 2022], относительные индексы параметров по камчатскому крабу были распределены на группы. Одна группа из двух индексов визуализирована за весь период наблюдений с 1995 по 2023 гг., а другие пять индексов были поделены ещё на две группы и визуализированы с 2003 по 2023 гг.

В первой группе индикаторов 1-й индекс промыслового запаса  $\text{I}\%Z$ , получен по данным прямого учёта, а от величины запаса устанавливается объём ОДУ, который, в свою очередь, взаимосвязан со 2-м индексом – индексом общего вылова за год  $\text{I}\%V$ .

Во вторую группу вошли 3-й, 4-й и 5-й индексы из промысловой статистики ССД, это: среднесуточный вылов краболовных судов за год ( $\text{I}\%dV$ ); общее количество промысловых судо-суток за год ( $\text{I}\%D$ ) и количество промысловых судов ( $\text{I}\%K$ ), добывающих краба за год.

В третью группу индексов вошли данные ССД по расстановке судов, ведущих промысел. Это 6-й индекс общей промысловой площади ( $\text{I}\%S$ ), где шёл вылов краба судами в течение года и взаимосвязанный с этим индексом 7-й индекс среднегодовой плотности изъятия крабов с единицы площади ( $\text{I}\%P$ ) или удельное изъятие краба с определённой площади в год (кг/км<sup>2</sup>).

В целом, ретроспективная динамика промыслово-статистических индексов относительности прямо или косвенно будет характеризовать и/или влиять на величину промыслового запаса аяно-шантарской популяции камчатского краба.

### Первая группа индексов ( $\text{I}\%Z$ , $\text{I}\%V$ ) – динамика в период 1995-2023 гг.

Индекс оценённого запаса на год ( $\text{I}\%Z$ ). Максимальная оценка промыслового запаса была в 2018 г. 21,2 тыс. т (см. табл. 1) и это 100%-я величина индекса запаса ( $\text{I}\%Z$ ) за весь изучаемый период. Динамика индекса запаса ( $\text{I}\%Z$ ) в ретроспективе показывает, что значение индекса ( $\text{I}\%Z$ ) в 1997-1999 гг. было чуть

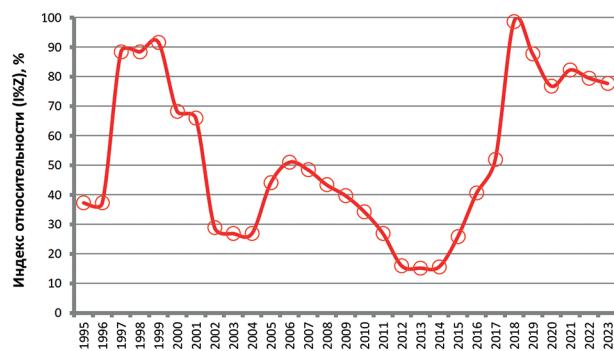
ниже максимального – около 90%. Следует отметить, что в 1995-1996 гг. (рис. 2 А) оценка запаса камчатского краба была заниженной, т. к. она дана только для района промысловых скоплений.

В периоды наименьших значений запаса в 2003-2004 и 2013-2014 гг. (см. табл. 1), относительные индексы запаса были построены на экспертных оценках («Материал и методы»), рассчитанных для всего района распространения изучаемой популяции. В Аяно-Шантарском районе промысловая биомасса в эти четыре года была исторически минимальной и составляла 1,94; 3,99 и 1,58; 2,68 тыс. т. Поэтому, в 2003-2004 и 2013-2014 гг. минимальные значения индекса промыслового запаса ( $\text{I}\%Z$ ) могли быть значительно ниже (соответственно годам – 9,0; 18,6% и 7,3; 12,5%), чем значения индекса  $\text{I}\%Z$  на рис. 2 А.

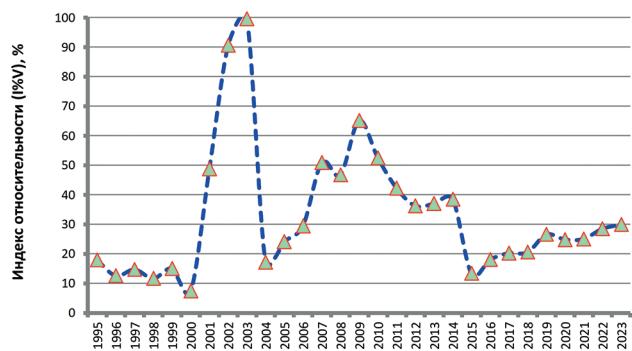
Значительная часть запаса (до 70-95%) камчатского краба сосредоточена в Аяно-Шантарском районе (см. рис. 1). С 2021 г. в Северо-Охотоморской подзоне учётных съёмок не было. Но современные данные мониторинговых исследований за 2022-2023 гг. свидетельствуют о том, что индекс запаса  $\text{I}\%Z$  камчатского краба находится на хорошем уровне (около 80%) и лишь на 1/5 меньше максимального исторического значения. Оценка запаса на 2023 г. установлена только для акватории Шантарских о-вов, на которой работали промысловые суда в этот год (см. рис. 1 Б; табл. 1).

Индекс вылова за год или ежегодного вылова ( $\text{I}\%V$ ). За рассматриваемый период максимальный вылов камчатского краба в Северо-Охотоморской подзоне был в 2003 г. – 2,78 тыс. т (это 100%-я величина индекса официального вылова за год  $\text{I}\%V$ , без учёта искажений в ССД имевших место до 2014 г.). Существенный вылов камчатского краба был и в 2002 г., индекс  $\text{I}\%V$  составил около 90%. В ретроспективной динамике индекса вылова  $\text{I}\%V$  наблюдаются три периода с минимальными значениями <20% – 1995-2000 гг. (исторический минимум вылова 7,4% был в 2000 г.), 2004-2005 гг. и 2015-2017 гг. (рис. 2 Б). После резкого роста вылова камчатского краба в 2001-2003 гг. наблюдался более крутой спад вылова в 2004-2005 гг.

Очередной существенный рост изъятия краба зарегистрирован с 2006 г. Так с 2007 по 2014 гг. значение индекса  $\text{I}\%V$  было в пределах от 50-60 до 40%. Резкое снижение индекса вылова  $\text{I}\%V$  до минимального уровня 13% было в 2015 г. В дальнейшем с 2016 г. наблюдался постепенный рост вылова. В текущий период значения индекса вылова  $\text{I}\%V$  близки к 30%, но, по-видимому, сложившаяся стабильность индекса вылова ( $\text{I}\%V$ ) имеет потенциал роста его зна-



А



Б

**Рис. 2.** Ретроспективная динамика индексов промыслового запаса ( $\text{I}\%\text{Z}$ ) и вылова ( $\text{I}\%\text{V}$ ) камчатского краба аяно-шантарской популяции в северо-западной части Охотского моря с 1995 по 2023 гг. (максимальная оценка промыслового запаса 21,2 тыс. т или 100% была в 2018 г., максимальный вылов был в 2003 г. – 2,8 тыс. т или 100%)

**Fig. 2.** Retrospective dynamics of the indices of the commercial stock ( $\text{I}\%\text{Z}$ ) and catch ( $\text{I}\%\text{V}$ ) of the red king crab of the Ayano-Shantar population in the northwestern part of the Sea of Okhotsk from 1995 to 2023 (the maximum estimate of the commercial stock of 21.2 thousand tons or 100% was in 2018 G. – 2.8 thousand tons or 100%)

чений до 40-45% (в абсолютных единицах вылова до 1000-1250 т в год).

В целом, ретроспективная динамика индексов  $\text{I}\%\text{Z}$  и  $\text{I}\%\text{V}$  указывает на то, что они формируются в противофазе друг к другу – при увеличении индекса изъятия  $\text{I}\%\text{V}$  более 50% от его максимального значения, через 4-5 лет наблюдается существенная убыль промыслового запаса  $\text{I}\%\text{Z}$ . Например, в 2001-2003 гг. индекс вылова  $\text{I}\%\text{V}$  был 50-100% (1,4-2,8 тыс. т), а индекс запаса  $\text{I}\%\text{Z}$  в последующие два года (2002-2004 гг.) сместился в нижнюю часть значений индекса  $\text{I}\%\text{Z}$ . Подобная взаимосвязь между индексами отмечена и в 2009-2014 гг., после высоких индексов вылова в 2007-2010 гг., уменьшение индекса вылова до 40% в 2011-2014 гг., стремительного падения индекса запаса не остановило. В период с 2016 по 2023 гг. были низкие объемы вылова, значение индекса  $\text{I}\%\text{V}$  было минимальным от 10-20 до 30%, а значение индекса промыслового запаса ( $\text{I}\%\text{Z}$ ) имело тренд роста, смещаясь в сторону максимальных величин.

### Вторая группа индексов ( $\text{I}\%\text{dV}$ , $\text{I}\%\text{D}$ , $\text{I}\%\text{K}$ ) – динамика в период 2003-2023 гг.

Относительные индексы – общего количества судо-суток за год ( $\text{I}\%\text{D}$ ) и количества краболовных судов ( $\text{I}\%\text{K}$ ), работавших на промысле за этот же год, взаимосвязаны с индексом ежегодного среднесуточного вылова ( $\text{I}\%\text{dV}$ ), поэтому их допустимо анализировать совместно – единым визуальным кластером за весь период наблюдений 2003-2023 гг.

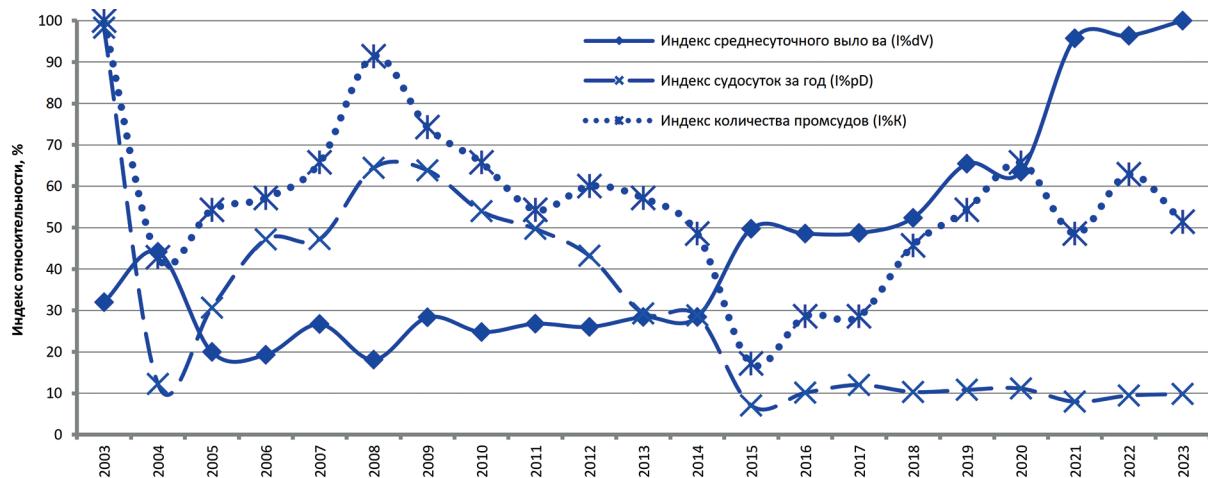
Индекс среднесуточного вылова за год ( $\text{I}\%\text{dV}$ ). В период 2003-2023 гг. максимальный среднесуточный вылов за год был в 2023 г. – 4,525 т в сутки (100%

величина индекса среднесуточного официального вылова в год –  $\text{I}\%\text{dV}$ ).

В начале ретроспективного периода (2003-2004 гг.) индекс  $\text{I}\%\text{dV}$  был от 32 до 43%, затем в 2005-2006 гг. произошло почти двукратное снижение индекса до 19-20% (рис. 3). С 2007 г. величина индекса  $\text{I}\%\text{dV}$  незначительно варьировалась, в 2014 г. тренд индекса  $\text{I}\%\text{dV}$  достиг величины 28%. Индекс среднесуточного вылова  $\text{I}\%\text{dV}$  в 2015 г. существенно вырос до 50%. Это значение сохранялось до 2018 г. В 2019-2020 гг. индекс  $\text{I}\%\text{dV}$  увеличился до 63-65%. В настоящий период индекс  $\text{I}\%\text{dV}$  показывает максимальные значения 95-100% (максимальный среднесуточный годовой вылов 4,53 т в сутки).

Индекс промысловых судо-суток за год ( $\text{I}\%\text{D}$ ) или индекс общего количества суток промысловых судов, затраченных в год на освоение ОДУ (судо-суток на лову). В начале ретроспективного периода (2003 г.) значение индекса количества промысловых судо-суток за год ( $\text{I}\%\text{D}$ ) было максимальным за всю историю наблюдений этого параметра, составляя 100% (краболовные суда 1916 судо-суток были на лову). Но уже в 2004 г. значение индекса  $\text{I}\%\text{D}$  резко понизилось до 12% (см. рис. 3). Начиная с 2005 г. индекс  $\text{I}\%\text{D}$  начал рост, а в 2008-2009 гг. показал величины 64-65%. Далее индекс количества судо-суток ( $\text{I}\%\text{D}$ ) постепенно опускался до 29% в 2014 г. Возможно, снижение этого индекса было вызвано введением норм минимального суточного вылова крабов для промысловых судов.

В 2015 г. индекс судо-суток  $\text{I}\%\text{D}$  существенно уменьшился – на 20 единиц. В этот год было отмечено исторически минимальное значение индекса  $\text{I}\%\text{D}$  равное 7% (137 судо-суток). Начиная с 2016 г. и по



**Рис. 3.** Ретроспективная динамика относительных индексов: индекс среднесуточного вылова за год ( $\%dV$ ) камчатского краба; индекс промысловых судо-суток за год ( $\%D$ ); индекс количества краболовных судов за год ( $\%K$ ), работавших в Северо-Охотоморской подзоне за 2003-2023 гг. Максимальный среднесуточный вылов за год 4,53 т/сутки (100%) был в 2023 г., максимальное количество судов на промысле за год было 35 (100%) в 2003 г., максимальное количество суток на промысле (судо-суток) за год было 1916 (100%) в 2003 г.

**Fig. 3.** Retrospective dynamics of relative indices: index of average daily catch per year ( $\%dV$ ) of the red king crab; index of the number of fishing days per year ( $\%D$ ); index of the number of crab vessels per year ( $\%K$ ) operating in the North Okhotsk subzone for 2003-2023. The maximum average daily catch for the year was 4.53 tons/day (100%) in 2023, the maximum number of vessels in the fishery for the year was 35 (100%) in 2003, the maximum number of days in the fishery (ship period) for the year was 1916 day (100%) in 2003

настоящее время сохраняется минимальное количество судо-суток, которые затрачиваются промысловые суда на освоение объемов ОДУ. Индекс  $\%D$  сейчас варьирует в пределах 10-12% (менее 200 судо-суток или около этой величины).

**Индекс количества промысловых судов ( $\%K$ ).** Количество краболовных судов, ведущих промысел краба, иногда рассматривается как самостоятельный параметр в противоположность количеству промысловых судо-суток, затраченных на освоение объемов ОДУ. Относительный индекс количества промысловых судов ( $\%K$ ), осваивающих объемы ОДУ за год, в период с 2003 по 2017 гг. имеет сходство в своей ретроспективной динамике с индексом затраченных судо-суток за год ( $\%D$ ). Но если, в период 2012-2014 гг. тренд индекса судо-суток ( $\%D$ ) снижался, то в это же время индекс количества промысловых судов  $\%K$  увеличивался, и уже совсем разнонаправленными были эти индексы в последние 8 лет, когда индекс судо-суток ( $\%D$ ) уменьшился до минимальных исторических значений, а индекс количества судов ( $\%K$ ), хоть и варьировал, но его значения увеличились кратно (см. рис. 3). За период 2003-2023 гг. максимальное число краболовных судов было в 2003 и в 2008 гг. 35 и 32 судна, соответственно (индексы  $\%K$  100% и 91,4%), а в 2016-2023 гг. было 16-23 судна (индексы  $\%K$  45,7 и 65,7%).

В целом, во второй группе индексов, визуализация индексов промысловых судо-суток  $\%D$  и количества краболовных судов  $\%K$  показывает, что в период 2003-2015 гг. они имели сходно развивающиеся тренды. Начиная с 2016 г. индекс судо-суток  $\%D$  находится на стабильно низком уровне около 10%, а индекс количества краболовных судов  $\%K$  варьирует на умеренно высоком уровне 45-65 %. Индекс среднесуточного вылова за год ( $\%dV$ ) имеет большую взаимосвязь с индексом судо-суток  $\%D$  и их ретроспективная динамика находится друг к другу в противофазе, которую условно можно охарактеризовать как фазовый антагонизм (см. рис. 3). Индекс количества промысловых судов оказался менее эффективным для промысловой статистики, чем индекс общего количества судо-суток, затраченных на освоение ОДУ. Поэтому индекс количества судов, ведущих промысел, в дальнейшем нет необходимости подробно рассматривать.

### Третья группа индексов ( $\%S$ , $\%P$ ) – динамика в период 2003-2023 гг.

В этой группе два промыслово-статистических параметра косвенно характеризующих или влияющих на промысловый запас: это площадь, на которой происходит промышленный лов камчатского краба, и степень нагрузки на промысловую часть популяции, связанную с объемом изъятия краба (кг) с удельной

площади ( $\text{км}^2$ ) на которой происходил промышленный лов краба.

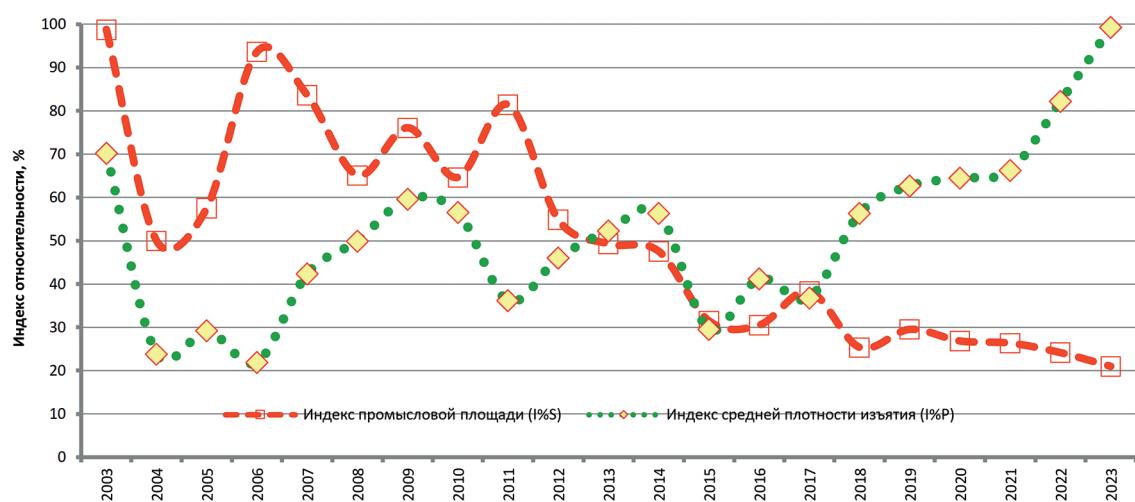
**Индекс промысловой площади ( $I\%S$ ).** Максимальная площадь занимаемая промысловыми судами при добывке камчатского краба была в 2003 г. и составляла 40,5 тыс.  $\text{км}^2$  (это 100%-я величина индекса промысловой площади за год –  $I\%S$ ). После резкого снижения промысловой площади в 2004 г. и её роста к 2006 г., наблюдалось сокращение промысловой площади с 94 до 55%. В период 2003-2015 гг. промысловая площадь, была подвержена значительным колебаниям, но с постоянным трендом понижения к 2015-2016 гг. (рис. 4). В эти годы индекс общей промысловой площади ( $I\%S$ ) составлял около 31-32%. В 2017 г. индекс  $I\%S$  незначительно вырос до 38%, но в дальнейшем имел тренд на снижение, достигнув в 2023 г. минимального значения 21%.

В последние 3-4 года площадь, занимаемая промысловыми судами, снизилась и составляет теперь от 5,5 до 8-10 тыс.  $\text{км}^2$ . Акватория, занимаемая промысловыми судами, располагается между пос. Аян, м. Борисова и Шантарскими о-вами (см. рис. 1). Например, в 2023 г. из 191 суток, затраченных промысловыми судами на вылов 837 т камчатского краба, до 95% суток суда находились на участке площадью не более 5,5-6,5 тыс.  $\text{км}^2$ , хотя общая промысловая площадь за этот год и составила 8,6 тыс.  $\text{км}^2$  [Моисеев, Моисеева, 2024]. Данные отраслевой системы мониторинга

Росрыболовства наглядно демонстрируют изменение расстановки краболовных судов на промысле камчатского краба в период 2003-2023 гг. Ретроспективная визуализация изменения площади, ежегодной локации промысловых судов, демонстрирует тенденцию сокращения площади, на которой работает промысловый флот. Наиболее типичная расстановка судов на промысле за 2003-2023 гг. представлена для четырёх лет (рис. 5).

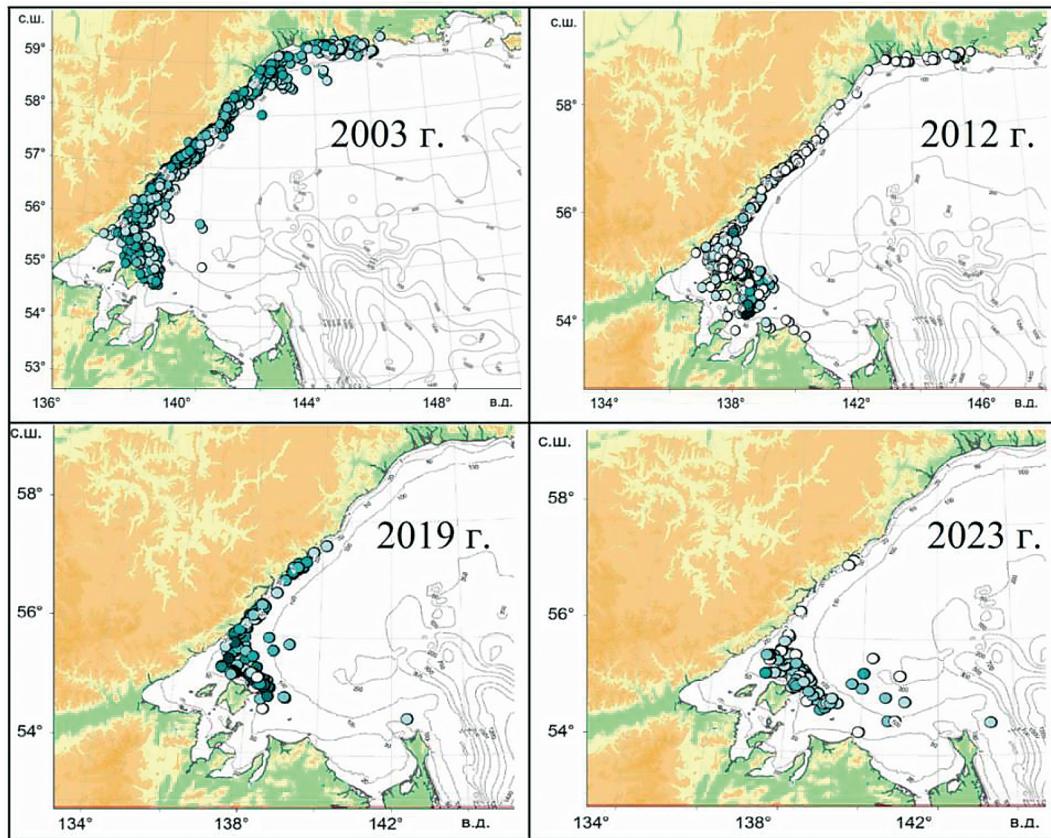
Если до начала-середины прошлого десятилетия локации краболовных судов были практически по всему северо-западному побережью Северо-Охотоморской подзоны, то уже в последние 5-6 лет суда располагаются на небольшом участке с основными концентрациями промысловых скоплений камчатского краба от пос. Аян до Шантарских о-ов. Таким образом, сегодня, в исследуемом районе, краболовные суда сосредотачиваются на легко «доступном запасе», здесь и далее термин применяется в трактовке А.И. Буяновского [2020; Буяновский и др., 2023].

**Индекс средней плотности изъятия крабов с единицы площади ( $I\%P$ ).** Характеризует степень интенсивности изъятия краба с единицы площади. За двадцатилетний период (2003-2023 гг.) индекс плотности изъятия ( $I\%P$ ) в первый год наблюдений имел высокое значение (70%), но резко снизился уже в 2004 г. (см. рис. 4). С 2004 по 2006 гг. значения индекса  $I\%P$  были исторически минимальными (24-20%). В течение



**Рис. 4.** Ретроспективная динамика индекса общей площади ( $I\%S$ ), на которой работали промысловые суда за год и индекс средней плотности изъятия краба ( $I\%P$ ) в год, за 2003-2023 гг. (максимальная площадь, на которой работали краболовные суда, – 40,5 тыс.  $\text{км}^2$  или 100% была в 2003 г., максимальная средняя годовая плотность изъятия краба 97,3  $\text{kg}/\text{km}^2$  или 100% была в 2023 г.).

**Fig. 4.** Retrospective dynamics of the index of the total area ( $I\%S$ ) on which fishing vessels worked for the year and the index of the average crab withdrawal density ( $I\%P$ ) per year, for 2003-2023 (the maximum area on which crab vessels worked was 40.5 thousand  $\text{km}^2$  or 100% was in 2003, the maximum average annual The crab withdrawal density was 97.3  $\text{kg}/\text{km}^2$  or 100% in 2023)



**Рис. 5.** Расстановка краболовных судов на промысле камчатского краба в северо-западной части Охотского моря в годы с наибольшим колебанием индекса промысловой площади ( $\text{I\%S}$ ) в 2003; 2012; 2019 и 2023 гг.

**Fig. 5.** The arrangement of crab vessels in the red king crab fishery in the northwestern part of the Sea of Okhotsk in the years with the largest fluctuations in the fishing area index ( $\text{I\%S}$ ) in 2003, 2012, 2019 and 2023

2007-2015 гг. величина индекса изъятия  $\text{I\%P}$  варьировалась от 36 до 57 %, снизившись в 2015 г. до 30 %. С 2016-2017 гг. наблюдался устойчивый рост значений относительного индекса плотности изъятия  $\text{I\%P}$  до максимального значения в 2023 г. (100%). Необходимо отметить, что в 2022-2023 гг. индекс плотности изъятия  $\text{I\%P}$  имеет высокие показатели, т. к. промысел краба проводится в основном на аяно-шантарских промысловых скоплениях с ограниченной площадью от 10 до 5,5-8,6 тыс.  $\text{km}^2$ . Начиная с 2015 г., а особенно с 2018 г., отмечается сокращение площадей, на которых работают краболовные суда (индекс  $\text{I\%S}$ ). Сосредоточение судов происходит исключительно на участках с плотными промысловыми скоплениями краба. Такая тактика ведения промысла приводит к высоким значениям изъятия камчатского краба с единицы площади, когда индекс плотности промыслового изъятия ( $\text{I\%P}$ ) достигает максимальных значений.

В целом с 2004 по 2011 гг. (1-й период) и в 2018-2023 гг. (2-й период) индекс промысловой площади ( $\text{I\%S}$ ) и индекс плотности изъятия ( $\text{I\%P}$ ) имели асинхронные значения, за исключением 2010, 2012-

2017 гг., когда значения их индексов были с близкими величинами. При высоких значениях промысловой площади в первом периоде наблюдались минимальные значения удельной плотности изъятия краба с единицы площади, и обратный сценарий наблюдается во втором – современном периоде (см. рис. 4).

Анализ двух индикаторов  $\text{I\%S}$  и  $\text{I\%P}$ , связанных с промысловой площадью работы краболовных судов, указывает на то, что в дальнейшем их корреляцию можно будет рассматривать как взаимосвязь с промысловым запасом. Так при снижении промыслового запаса может происходить снижение индекса плотности изъятия с единицы площади ( $\text{I\%P}$ ) и одновременно будет происходить расширение промысловой площади ( $\text{I\%S}$ ) с целью поиска краболовами новых скоплений. Обратный сценарий будет наблюдаться при высоких значениях промыслового запаса, подобная картина наблюдается в текущем периоде с 2017 г. (см. рис. 4).

На современном этапе, из двух рассматриваемых индикаторов ( $\text{I\%S}$  и  $\text{I\%P}$ ), когда промысел происходит в ограниченном пространстве 5,5-10 тыс.  $\text{km}^2$  наи-

более важным индикатором для промысловой статистики становится индекс плотности изъятия  $I\%P$  краба с единицы площади. Ввиду того, что промыслом краб постоянно изымается с небольшой площади, то вариабельность этого индекса более корректно количественно отражает текущее положение на интенсивно эксплуатируемом участке. В перспективе, в случае снижения «доступного запаса»  $I\%P$  будет иметь обратную взаимосвязь с другим индексом, индексом среднесуточного вылова ( $I\%dV$ ).

## ОБСУЖДЕНИЕ

Ретроспективный анализ оценок промыслового запаса аяно-шантарской популяции камчатского краба с 1995 до 2018 гг. базировался на результатах ежегодного прямого учёта краба во время выполнения ловушечных съёмок, а с 2019 г. ловушечные съёмы проводятся нерегулярно с интервалами 2-4 года. Возникает необходимость выполнения хотя бы качественной оценки, характеризующей состояние запаса промысловых крабов, такую оценку можно получить при использовании метода «светофора» [Halliday et al., 2001]. В настоящее время, в отсутствии регулярного получения данных прямого учёта индикаторный метод хорошо себя зарекомендовал при анализе доступных источников из промысловой информации по вылову крабов и крабоидов [Буяновский и др., 2023]. Многие методы математического моделирования запаса, как и трёхзональный подход, для оценки состояния запаса применяют специфический математический инструментарий, и только конечные результаты, полученные для различных параметров ретроспективной динамики, визуализируются графически в абсолютных единицах создавая блок из нескольких рисунков. При этом конечная визуализация результатов моделирования, состоящая из каскада рисунков и/или математических уравнений и формул, часто исключает возможность прямого и открытого аудита входных данных и конечных результатов применяемого математического моделирования.

Предложенный в предыдущих разделах метод единого масштабирования различных значений параметров промысловой статистики в относительные индексы/индикаторы, позволяет их группировать на едином графике, независимо от количества рассматриваемых параметров. Подобный подход воспроизводит взаимосвязь и динамику изучаемых параметров промысловой статистики с оценкой состояния запаса на любом рассматриваемом историческом отрезке [Моисеев и др., 2021; 2022]. Потенциал применения метода единого масштабирования данных, полученных во время рыбохозяйственных исследо-

ваний, впервые показал А.Ю. Огурцов [2005] с целью поиска закономерностей пространственного распределения четырёхугольного волосатого краба *Erimacrus isenbeckii* (Brandt, 1848) и образования им промысловых скоплений у побережья Западного Сахалина.

## Ретроспективная динамика и взаимосвязь относительных индикаторов.

За период исследований 1995-2023 гг. были выделены три группы относительных индикаторов (см. рис. 2-4). Первая группа отражает прямую взаимосвязь индекса промыслового запаса ( $I\%Z$ ) краба с индексом ежегодного вылова ( $I\%V$ ) или со степенью эксплуатации этого промыслового запаса. Так, при низкой степени изъятия краба, когда индекс вылова  $I\%V$  был менее 20-30% от максимального ретроспективного объёма изъятия, равного около 2,8 тыс. т, наблюдался рост индекса промыслового запаса  $I\%Z$  до 80-100% (максимальный промысловый запас 21,2 тыс. т). Но если при длительном воздействии на промысловую часть популяции с 2007 по 2014 гг., индекс изъятия  $I\%V$  колебался от 40-50 до 60%, то индекс запаса  $I\%Z$  имел постоянный тренд на его снижение, а в 2013 г.  $I\%Z$  он достиг минимальных исторических значений (см. рис. 2). Следует учитывать то, что до середины прошлого десятилетия регулярно фиксировался ННН-промысел, который при установлении относительных индексов нами не учитывался.

Относительные индексы, входящие во 2-ю и 3-ю группы за период 2003-2023 гг. можно объединить, оставив из них три индекса, более взаимосвязанные с индексом вылова  $I\%V$ . Это индекс среднесуточного вылова за год ( $I\%dV$ ) и индекс количества промысловых судо-суток за год ( $I\%D$ ) из 2-й группы индексов (см. рис. 3), а также индекс средней плотности изъятия крабов с единицы площади ( $I\%P$ ) из 3-й группы (см. рис. 4). Все эти три индекса ( $I\%dV$ ,  $I\%D$ ,  $I\%P$ ) и индексы промыслового запаса  $I\%Z$  и вылова  $I\%V$  построены в едином масштабе, что позволяет их объединить и визуализировать на одном историческом отрезке 1995-2023 гг. (рис. 6).

Ретроспектива промыслово-статистических параметров и оценки промыслового запаса, выраженные в относительных индикаторах, наглядно демонстрируют степень их взаимосвязи. Визуализация ретроспективной динамики выше приведённых индексов согласуется с особенностями ведения промысла краболовными судами. Так, ранее было показано, что основной вылов объёмов ОДУ промысловых видов крабов может проходить на небольших по площади полигонах [Михеев и др., 2007] или на ограниченных пространствах с «доступным запасом» [Буяновский, 2012; 2020; Буяновский и др., 2023]. К таким ярко вы-

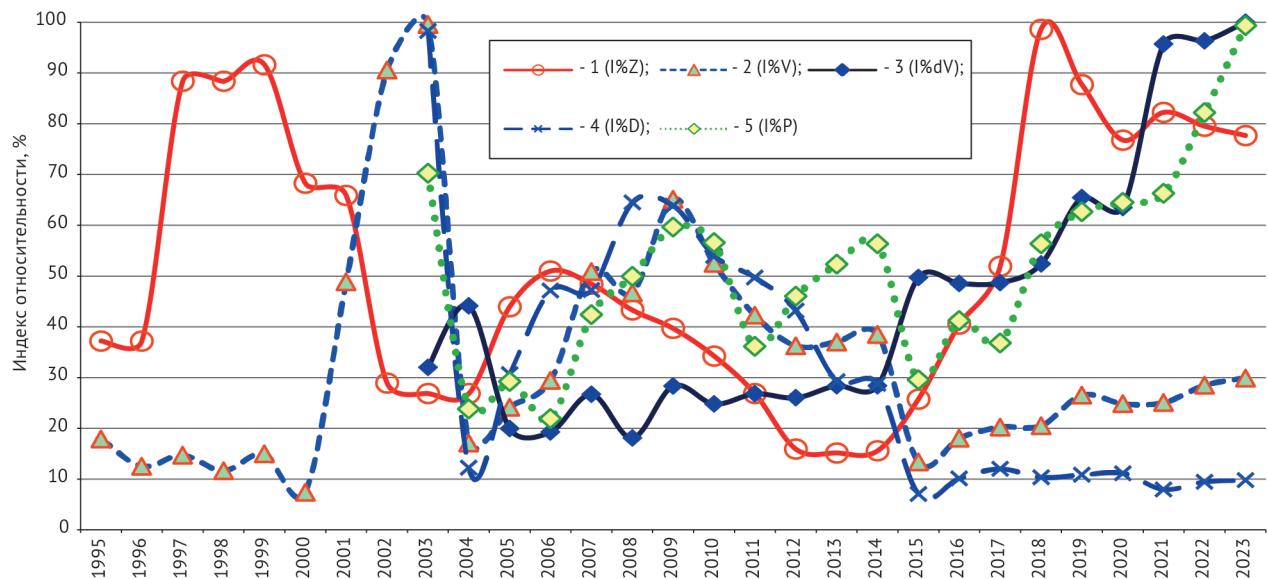


Рис. 6. Ретроспективная динамика промыслового-статистических индексов камчатского краба аяно-шантарской популяции за 1995-2023 гг.

Обозначения: 1 – индекс промыслового запаса ( $I\%Z$ ), где  $Z$  – запас (максимальная оценка промыслового запаса 21,2 тыс. т или 100% была в 2018 г.); 2 – индекс общего вылова за год ( $I\%V$ ), где  $V$  – вылов (максимальный вылов, без учёта ННН-промышленства был в 2003 г. – 2,8 тыс. т или 100%); 3 – индекс ежегодного среднесуточного вылова одного судна ( $I\%dV$ ), где  $dV$  – дневной вылов в среднем за год (максимальный среднесуточный вылов за год 4,53 т/сутки или 100% был в 2023 г.); 4 – индекс количества судо-суток на промысле за год ( $I\%D$ ), где  $D$  – дней на промысле всех судов за год (максимальное количество судо-суток на промысле за год было 1916 или 100% в 2003 г.); 5 – индекс плотности изъятия краба с единицы промысловой площади ( $I\%P$ ), где  $P$  – плотность изъятия краба с единицы площади (максимальная средняя годовая плотность изъятия краба 97,3 кг/км<sup>2</sup> или 100% была в 2023 г.)

Fig. 6. Retrospective dynamics of commercial and statistical indices of the red king crab of the Ayano-Shantar population for 1995-2023

Designations: 1 – the index of the fishing stock ( $I\%Z$ ), where  $Z$  is the stock (the maximum estimate of the fishing stock was 21.2 thousand tons or 100% in 2018); 2 – the index of the total catch for the year ( $I\%V$ ), where  $V$  is the catch (the maximum catch, excluding IUU fishing, was in 2003-2.8 thousand tons or 100%); 3 – the index of the average daily catch of one vessel per year ( $I\%dV$ ), where  $dV$  is the daily catch on average per year (the maximum average daily catch per year was 4.53 tons/day or 100% in 2023); 4 – the index of the number of fishing days per year ( $I\%D$ ), where  $D$  is the days of fishing for all vessels per year (the maximum number of fishing days per year was 1916 or 100% in 2003); 5 – the index of the density of crab withdrawal per unit of fishing area ( $I\%P$ ), where  $P$  is the density of crab withdrawal per unit area (the maximum average annual crab withdrawal density of 97.3 kg/km<sup>2</sup> or 100% was in 2023)

раженным единицам «доступного запаса» относятся два района промысловых скоплений: а) синего краба в заливе Шелихова, где до 60% годового вылова происходит на площади 3-5 тыс. км<sup>2</sup> [Моисеев, Моисеева, 2019; Моисеев и др., 2021] и б) вылов камчатского краба в Аяно-Шантарском районе, где его изъятие составляет до 90-95% от объёмов ОДУ на площади менее 8-10 тыс. км<sup>2</sup> [Моисеев, Моисеева, 2024].

Исходя из динамики различных индексов, рассмотренных ранее (см. рис. 2-4; 6), два индекса (общего количества судов  $I\%K$  и общей промысловой площади  $I\%S$ ), наиболее зависимы от воздействия на них административно-хозяйствующих причин (человеческий фактор при составлении ежедневной отчётоности, включая искажения сводок ССД). Поэтому, их значения не всегда корректны, и они далее подробно не рассматриваются. Третий индекс – общее количество промысловых судо-суток ( $I\%D$ ), также можно не рас-

матривать, т. к. он и индекс среднесуточного вылова ( $I\%dV$ ) взаимосвязаны между собой и формируют значение ежегодного вылова (индекс  $I\%V$ ). В связи с этим, для дальнейшего рассмотрения остаются два последних индекса (среднесуточного вылова  $I\%dV$  и годового вылова  $I\%V$ ). Ретроспективные значения среднесуточного вылова судов и общего ежегодного вылова являются базовыми параметрами в промысловой статистике [Буяновский и др., 2023]. Но ещё одним важным параметром промысловой статистики, характеризующим степень освоения «доступного запаса», оказалась плотность изъятия краба с единицы площади (кг/км<sup>2</sup>) или индекс удельного изъятия краба ( $I\%P$ ). Так, в 2007-2014 гг. были высокие показатели ежегодного вылова при больших промысловых площадях и при высоких значениях количества судо-суток, затраченных на освоение ОДУ. Но при этом наблюдались высокие значения вылова с единицы площади и одновременно отмеча-

лись низкие показатели среднесуточного вылова. Данное обстоятельство указывало на то, что основная доля вылова приходилась на промысловые скопления Аяно-Шантарского участка, а большое количество судо-суток и судов приходилось на акватории с низкой плотностью распределения краба. С 2016 по 2023 гг. наблюдались синхронные тренды индекса среднесуточного вылова ( $\%dV$ ) и индекса плотности изъятия ( $\%P$ ) с достижением их максимальных значений, а индекс ежегодного вылова ( $\%V$ ) в этот период был с минимальными значениями и не превышал 30%.

В целом, визуализация пяти относительных индексов единым кластером позволяет акцентировать их влияние и роль в различные ретроспективные периоды, отличающихся значениями и временным лагом. Особо негативное влияние на промысловый запас камчатского краба аяно-шантарской популяции оказали два коротких периода в 2002-2005 и 2012-2015 гг. с критически высокими значениями промыслово-статистических параметров. В первый период было введено срочное управленческое решение по существенному (3-х кратному) снижению объёмов изъятия с 2004 г., которое способствовало восстановлению промыслового запаса к 2006-2007 гг. до 50% (см. рис. 6). С конца второго периода (с 2015 г.) стали вводиться биологически обоснованные решения в рамках единой стратегии регулирования промысла крабов и крабоидов в морях России [Алексеев и др., 2017]. В настоящий период объёмы изъятия (ОДУ) камчатского краба аяно-шантарской популяции стабильные, а индекс ежегодного вылова ( $\%V$ ) находится на уровне 25-30% от максимального изъятия в 2003 г. Данное обстоятельство проектируется на стабильность высоких значений промыслового запаса. Сегодня индекс запаса ( $\%Z$ ) остаётся высоким – не менее 75-80% с возможным ростом до 90-95%.

Таким образом, ретроспективные колебания индексов  $\%V$  и  $\%dV$  можно рассматривать совместно с индексом средней плотности изъятия краба за год ( $\%P$ ), т. к. они могут влиять на состояние промыслового запаса и качественно характеризовать динамику его трендов на любом историческом отрезке с пролонгацией на 1-2 года вперёд. В последующих разделах, динамику состояния промыслового запаса камчатского краба предлагается оценивать по значениям относительного индекса промыслового запаса ( $\%Z$ ), применяя к нему четырёхзональный (квартильный) подход [Моисеев и др., 2021; 2022].

### Ретроспективная зональная динамика индекса промыслового запаса

Оценка промыслового запаса с применением квартирильного метода носит качественный ха-

рактер и предполагает введение четырёх зон для шкалы относительного индекса промыслового запаса ( $\%Z$ ), выраженного в процентах в диапазоне  $0 < \%Z \leq 100\%$ . Подобный подход ранее использовался при оценке состояния промыслового запаса синего краба в Западно-Камчатской подзоне и в Западно-Беринговоморской зоне. Были выработаны среднесрочные прогностические предположения, о благополучии первой единицы запаса в северной части Охотского моря и о неопределённости и снижении запаса второй единицы запаса в западной части Берингова моря [Моисеев и др., 2021; 2022]. В настоящий период прогностические тренды четырёхзонального индикаторного метода оказались состоятельными.

В отличие от процентильного трёхзонального метода «светофора», вошедшего в рыбохозяйственную практику [Halliday et al., 2001; Буяновский и др., 2023], квартирильный подход позволяет на более ранних стадиях развития динамики состояния запаса (ухудшения/снижения или улучшения/увеличения) выявить критические периоды и факторы промысловых индексов, влияющих на формирование тенденций в состоянии запаса. Кроме того, относительные индексы, являясь индикаторами, хорошо встраивают в существующую практику применения трёхзонального правила регулирования промысла методом «светофора» с разделительными границами по значениям 33,3 и 66,7 процентилям (в нашем случае все индексы даны в %). Следует учитывать, что трёх- или четырёхзональные характеристики индекса промыслового запаса ( $\%Z$ ), являются оперативным инструментом в оценке промыслового запаса. Поэтому, в условиях нерегулярного поступления данных прямого учёта крабов, индикаторная оценка промыслового запаса, установленная в относительных единицах, служит ориентировочным индикатором в условиях критического недостатка данных, и может быть своевременной помощью в оперативном принятии управленческого решения в прогностических оценках. Но в дальнейшем, в случае получения уточнённого результата о состоянии запаса, по данным учётных съёмок и/или результатов модельных расчётов, оценка запаса при необходимости может также оперативно корректироваться.

Анализируя ретроспективную динамику шести промыслово-статистических индексов ( $\%dV$ ,  $\%D$ ,  $\%K$ ,  $\%S$ ,  $\%P$ ,  $\%V$ ) было установлено, что наибольшее значение для характеристики оценки состояния запаса ( $\%Z$ ) имеют: индекс среднесуточного вылова за год ( $\%dV$ ), индекс средней плотности изъятия краба с единицы площади ( $\%P$ ) и индекс общего вылова за год ( $\%V$  устанавливается без учёта ННН-промыс-

ла). Эти три индекса имеют прямое взаимоотношение с индексом промыслового запаса ( $\%Z$ ) и являются отображением его состояния. В связи с этим, все четыре индекса ниже будут визуализированы единым графическим кластером.

Ретроспективная динамика промыслового запаса камчатского краба аяно-шантарской популяции в Северо-Охотоморской подзоне хорошо согласуется с динамикой двух основных промысловостатистических параметров из отраслевой системы мониторинга (данные ССД) – ежегодным выловом краба и среднесуточной производительностью (выловом) краболовных судов за год, а также и с новым параметром удельного изъятия краба с единицы площади. Применив зональную визуализацию динамики индекса промыслового запаса аяно-шантарской популяции камчатского краба ( $\%Z$ ) за 1995–2023 гг. можно выделить шесть неодинаковых по продолжительности периодов (рис. 7) с различным состоянием промыслового запаса.

**Период 1995–2000 гг.** В этот период состояние запаса можно охарактеризовать как выше удовлетворительного. До начала интенсивного промысла кам-

чатского краба (с 2001 г.) его запас был на очень высоком уровне, индекс запаса ( $\%Z$ ) составлял 89–92% (рис. 7). При этом необходимо учесть, что установление индекса ( $\%Z$ ) в зоне неопределенности в 1995–1996 гг. связано оценкой запаса, выполненной для малой площади исследований. В 1995–2000 гг. индекс годового вылова ( $\%V$ ) был на низком уровне от 18 до 7%, что способствовало стабильно высоким значениям биомассы промыслового запаса, близкого к его максимальному значению за историческое наблюдение.

**Период 2001–2003 гг.** В этот короткий период на фоне резкого роста индекса вылова ( $\%V$ ), многократно превышающего его значение за предыдущий период, в 2003 г. произошло снижение индекса запаса ( $\%Z$ ) в несколько раз. Индекс  $\%Z$  в основном районе работы промысловых судов составил всего 9% и до 27% в целом для Северо-Охотоморской подзоны (см. рис. 7). При этом необходимо отметить, что в 2003 г. учётная съёмка выполнялась на небольшой акватории от бухты Аян до Шантарских о-вов. Поэтому, для остальной акватории обитания камчатского краба расчёт запаса носил экспертный характер. Много-

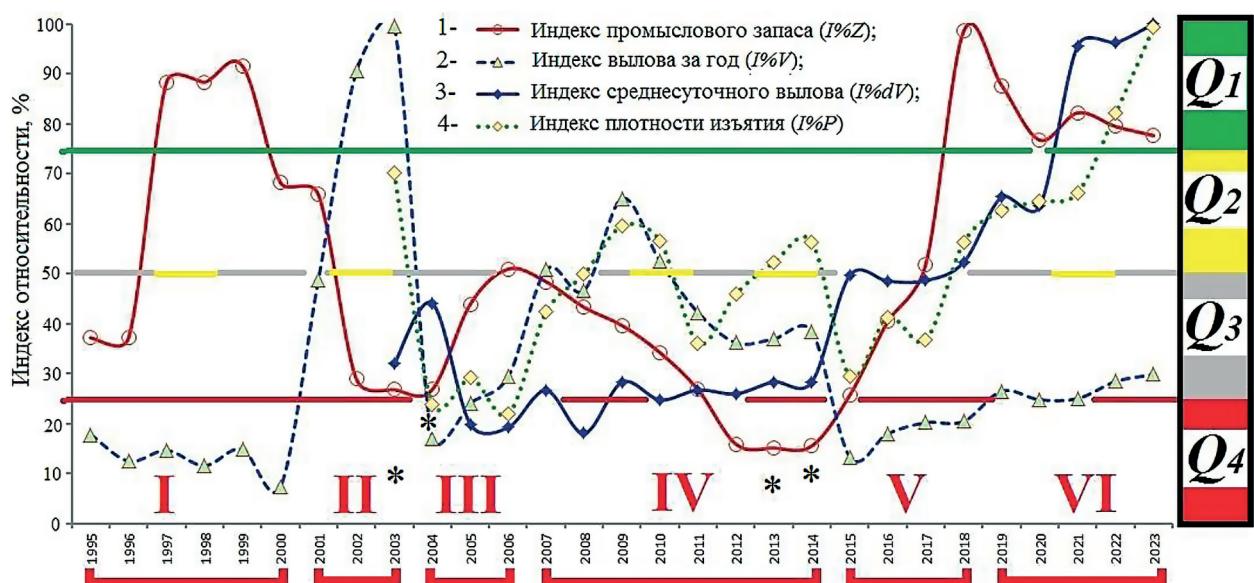


Рис. 7. Четырёхквартильная (зоны  $Q_1$ – $Q_4$ ) ретроспективная динамика относительного индекса промыслового запаса камчатского краба в северо-западной части Охотского моря с 1995 по 2023 гг.

Обозначения: 1 – индекс промыслового запаса ( $\%Z$ ); 2 – индекс общего вылова за год ( $\%V$ ); 3 – индекс ежедневного среднесуточного улова судов ( $\%dV$ ); 4 – индекс средней плотности изъятия краба с единицы площади за год ( $\%P$ ). \* – в 2003–2004 и 2013–2014 гг. оценка запаса проводилась только в Аяно-Шантарском районе (в эти годы значения на красной линии включают экспертные оценки). I–II–III–IV–V–VI – исторические периоды с различной степенью развития трендов относительных индексов ( $\%Z$ ,  $\%V$ ,  $\%dV$  и  $\%P$ )

**Fig. 7. Four-quartile (zones  $Q_1$ – $Q_4$ ) retrospective dynamics of the relative index of the commercial stock of the red king crab in the north-western part of the Sea of Okhotsk from 1995 to 2023**

Designations: 1 – index of commercial stock ( $\%Z$ ); 2 – index of total catch per year ( $\%V$ ); 3 – index of annual average daily catch of vessels ( $\%dV$ ); 4 – index of average density of crab withdrawal per unit area per year ( $\%P$ ). \* – In 2003–2004 and 2013–2014, the reserve assessment was carried out only in the Ayano-Shantarsky district (in these years, the values on the red line include expert estimates). I–II–III–IV–V–VI – historical periods with varying degrees of development of trends in relative indices ( $\%Z$ ,  $\%V$ ,  $\%dV$  and  $\%P$ )

кратный рост вылова (с 0,4 до 2,5-2,8 тыс. т и это без учёта ННН-промысла) тесно связан с неоправданным увеличением вылова. Значение индекса  $I\%V$  возросло с 7 до 100%. Одновременно в 2003 г. наблюдались высокие значения средней плотности изъятия краба с единицы площади ( $I\%P$ ) и индекса среднесуточного вылова ( $I\%dV$ ). Такое стремительно возросшее антропогенное воздействие на промысловую часть популяции камчатского краба оказалось крайне негативным для неё. В результате резкого роста изъятия крабов произошло такое же резкое падение индекса промыслового запаса ( $I\%Z$ ) – вплоть до нижней части негативной зоны ( $Q_4$ ).

**Период 2004-2006 гг.** За этот небольшой период произошёл выход индекса состояния промыслового запаса ( $I\%Z$ ) из верхней части негативной зоны (23%) до верхней границы зоны неопределенности  $Q_3$  (см. рис. 7) и формальному переходу его в следующую зону удовлетворительного состояния  $Q_2$  (51%). Этот рост промыслового запаса был взаимосвязан с многократным снижением в 2004 г. индекса вылова ( $I\%V$ ) и уменьшением индекса плотности изъятия ( $I\%P$ ), что в свою очередь привело к разовому и значительному увеличению индекса среднесуточного вылова ( $I\%dV$ ). Следует подчеркнуть, что положительная роль в восстановлении промыслового запаса в 2004-2006 гг. состояла в своевременном оперативном принятии управленческого решения, направленного на существенное снижение объёмов изъятия краба.

**Период 2007-2014 гг.** В этот период до 2009 г. наблюдался значительный рост индекса ежегодного вылова ( $I\%V$ ) и индекса плотности изъятия ( $I\%P$ ). После 2009 г. величины этих индексов были переменчивыми и имели тенденцию снижения к 2014 г. На этом вариативном фоне, начиная с 2007 г. шло постоянное уменьшение промыслового запаса, а в 2013-2014 гг. индекс запаса ( $I\%Z$ ) достиг в зоне  $Q_4$  минимальных значений (см. рис. 7). Промысловый пресс на популяцию камчатского краба в течение 2007-2014 гг., был чрезмерно высоким, проявившийся в низких показателях индекса среднесуточного вылова ( $I\%dV$ ) и, по-видимому, присутствию «серой» (недостоверной) промысловой отчётности в этот период. Индекс промыслового запаса ( $I\%Z$ ) в 2013 г. имел минимальное историческое значение 7,5%, а с 2014 г. отмечен незначительный его рост (12,6%). В 2013-2014 гг. оценки запаса выполнялись только для Аяно-Шантарского района промысла. В эти годы оценка запаса для всей рыбопромысловой подзоны была экспертной, составляя 3,3 и 3,4 тыс. т, а индекс запаса  $I\%Z$  находился около 15%.

**Период 2015-2018 гг.** В этот период, начиная с 2015 г. наметился усиленный рост индекса про-

мыслового запаса ( $I\%Z$ ) и достижением в 2018 г. его максимального исторического значения в 100% или 21,2 тыс. т (см. рис. 7). Стремительный подъём промыслового запаса в этот период был обусловлен своевременным снижением объёмов ОДУ до минимального уровня и введением ежегодного запрета в августе промысла краба. Индекс вылова ( $I\%V$ ) составлял всего 13-20%, в отличие от 100% в 2003 г. В 2018 г. значения индекса среднесуточного вылова ( $I\%dV$ ) и индекса плотности изъятия ( $I\%P$ ) превысили 50% уровень (52-56%).

Уменьшение годового вылова ( $I\%V$ ) в 2015-2018 гг. до минимальных значений  $\leq 20\%$  обеспечивало рост индекса запаса  $I\%Z$  и как следствие увеличились значения индексов  $I\%dV$  и  $I\%P$ . Но, одним из наиважнейших факторов, повлиявшим на интенсивный рост запаса к 2018 г. было вхождение в промысловую часть популяции урожайных поколений молоди краба, наблюдавшихся в Аяно-Шантарском районе до середины прошлого десятилетия [Черниенко, 2010; 2013; Моисеев, 2015].

**Период 2019-2023 гг.** Этот современный этап характеризуется незначительным снижением значений индекса промыслового запаса ( $I\%Z$ ) и его устойчивым состоянием на уровне 78-82%. Таким образом, индикатор запаса, находящийся в зоне  $Q_1$  интерпретируется как хорошее. В последние три года значения индекса среднесуточного вылова ( $I\%dV$ ) и плотность изъятия крабов с единицы площади ( $I\%P$ ) выросли до максимальных исторических значений. Эти индикаторы промысловой статистики прямо или косвенно свидетельствуют о благополучном состоянии промыслового запаса в зоне  $Q_1$  (см. рис. 7) и соответственно указывают на хорошую промысловую обстановку на ближайшие 2-3 года. Научный мониторинг промысла в районе «доступного запаса» в 2022-2023 гг. свидетельствует о том, что на площади около 2,5 тыс.  $\text{km}^2$  сосредоточено до 4,5 млн экз. или до 7,4 тыс. т промысловых крабов [Моисеев, Моисеева, 2024], что составляет до 30% от максимальной промысловой биомассы 21,2 тыс. т, зафиксированной в 2018 г. (см. табл. 1).

В последние 5-6 лет состояние промыслового запаса камчатского краба оценивается как хорошее или близкое к таковому и как следствие происходит успешное освоение ОДУ аяно-шантарской популяции. Ежегодно специализированный промысел проходит исключительно на небольшой по площади акватории с «доступным запасом». Современное состояние промыслового запаса и данные промысловой статистики допускают, что в ближайшее годы возможно постепенное повышение объёмов вылова камчатского краба. В течение 2-3 лет допустимо поэтапное увели-

чение объёмов ОДУ (до 1,25 тыс. т). Умеренное повышение объемов изъятия камчатского краба поможет избежать резкого снижения запаса, наблюдавшегося в 2001-2003 и 2007-2014 гг. Следует учитывать, что в северо-западной части Охотского моря, как и в других дальневосточных морях, с начала 90-х гг. и до середины прошлого десятилетия наблюдался значительный перелов рекомендуемого объёма ОДУ камчатского краба [Цыгир, 2006]. Поэтому, в современных условиях, когда ННН-вылов практически искоренён, а предлагаемое увеличение индекса ежегодного вылова ( $\%V$ ) до 40-45% (до 1250 т) от максимального исторического значения, наблюдавшегося в 2003 г. (2,8 тыс. т) является вполне допустимым.

В ретроспективной динамике индекса промыслового запаса ( $\%Z$ ) и двух основных промысловостатистических индексов ежегодного вылова ( $\%V$ ) и среднесуточного вылова ( $\%dV$ ) было выявлено шесть различных по продолжительности периодов, отличающиеся трендами подъёма или снижения значений индекса запаса (см. рис. 7). Эти же параметры, выраженные в абсолютных единицах (табл. 2), в последние 5-6 лет, свидетельствуют о благополучном состоянии промыслового запаса камчатского краба в Северо-Охотоморской подзоне, включая и район

с «доступным запасом». Такое обобщение современной оценки запаса подтверждается наличием в размерном составе самцов высокой доли их молоди с ШК <130 мм, так в 2023 г. она составляла до 42% [Моисеев, Моисеева, 2024]. В целом, применение ретроспективных индексов промысловой статистики показывают, что оперативное снижение изъятия краба и введение других ограничительных мер в 2003-2004 и в 2014-2015 гг. (например, установление минимальных суточных норм вылова), ведёт к успешному восстановлению промыслового запаса камчатского краба аяно-шантарской популяции в течение 3-4 лет. Такое предположение хорошо согласуется с темпами восстановления промыслового запаса камчатского краба на шельфе Западной Камчатки, ранее высказанное Л.Г. Виноградовым [1956; Избранные ..., 2013].

### Ретроспективная зональная динамика интегрального индекса

В течение 30-летнего периода динамика значений у всех рассмотренных индикаторов была различной с соответствующими трактовками трендов развития ситуаций (табл. 2). Поэтому, для представленных выше результатов динамики индексов, возникает необходимость выполнить интегральную оценку индикаторов

**Таблица 2.** Ретроспективная динамика вариативности промыслового запаса, общего вылова и среднесуточного улова камчатского краба в Северо-Охотоморской подзоне в 1995-2023 г.

**Table 2.** Retrospective dynamics of the variability of the commercial stock, total catch and average daily catch of the red king crab in the north-western part of the Sea of Okhotsk in 1995-2023

Период	Запас			Объём вылова за год (освоение ОДУ)			Среднесуточный годовой вылов*			Состояние запаса зона Q / тренд
	mini	maxi	mid.	mini	maxi	mid.	mini*	maxi*	mid.*	
1995- 2000	тыс. т	8	19	14,73	0,207	0,500	0,369			$Q_2-Q_1$ / рост и стабильность
	$\%V$	37,7	89,6	69,5	7,4	17,9	13,2			
2001- 2003	тыс. т	5,8	14,2	8,72	1,4	<b>2,8</b>	2,227	1,45*	1,45*	$Q_2-Q_3-Q_4$ / рез- кое снижение
	$\%V$	27,4	67,0	41,1	48,8	<b>100</b>	79,5	32,0	32,0	
2004- 2006	тыс. т	5,8	11	8,73	0,478	0,747	0,592	0,873*	1,999*	$Q_4-Q_3$ / рост
	$\%V$	27,4	51,9	41,2	17,1	26,7	21,1	19,3	44,1	
2007- 2014	тыс. т	3,3	10,4	6,43	0,952	1,632	1,175	0,820*	1,286*	$Q_3-Q_4$ / сниже- ние
	$\%V$	15,6	49,1	30,3	34,0	58,3	42,0	18,1	28,4	
2015- 2018	тыс. т	5,4	<b>21,2</b>	11,66	0,374	0,569	0,503	2,199*	2,372*	$Q_3-Q_1$ / рост значительный
	$\%V$	25,5	<b>100</b>	55,0	13,3	20,3	18,0	48,5	52,4	
2019- 2023	тыс. т	16,5	18,7	17,37	0,681	0,797	0,733	2,877*	<b>4,53*</b>	$Q_1$ / стабильно вы- сокое
	$\%V$	77,8	89,2	81,9	24,3	28,5	26,2	63,5	<b>100</b>	

Примечание. \* – в ячейках колонок среднесуточного годового вылова в соответствующих строках с абсолютными единицами (2-я колонка ячейки тыс. т) даны значения вылова в тоннах за одни сутки лова (т/сут.).

характеризующих промысловый запас [Буяновский и др., 2023]. Основные индексы из промысловой статистики по камчатскому крабу за 2003-2023 гг. представлены на рис. 6-7. Поэтому, интегральный индекс ( $I\%_{intg}$ ) будет устанавливаться для этого периода по следующему алгоритму:

1. Имеются значения индексов  $I\%Z$ ,  $I\%V$ ,  $I\%dV$ ,  $I\%D$  и  $I\%P$  (см. рис. 6) установленные по уравнению (1) из промысло-статистических данных (см. табл. 1), они указаны в долях (%). Ежегодное значение индекса соответствует его положению в квартильной зоне от  $Q_1$  до  $Q_4$  (Материал и методы; см. рис. 7).

2. Ежегодный интегральный или совокупный индекс ( $I\%_{intg}$ ) определяется путём суммирования значений промысло-статистических индексов и деления этой суммы на число индексов. Полученное значение совокупного индекса  $I\%_{intg}$  выраженное в процентах, будет оценочной характеристикой состояния запаса в соответствии с расположением значения индекса  $I\%_{intg}$  в квартильной зоне от  $Q_1$  до  $Q_4$  (см. рис. 7), т. е. так же как и других индексов. Таким образом, в зависимости от количества суммируемых относительных индексов ежегодная оценка интегрального индекса  $I\%_{intg}$  устанавливается из расчёта среднего арифметического значения от переменного количества слагаемых значений относительных индексов по следующей форме:

$$I\%_{intg} = (I\%Pr_1 + I\%Pr_2 + \dots + I\%Pr_n) / n, \quad (2)$$

где:  $I\%Pr_i$  – значение одного из интегрируемых индексов, полученное в определённый год по уравнению (1);  $n$  – количество индексов.

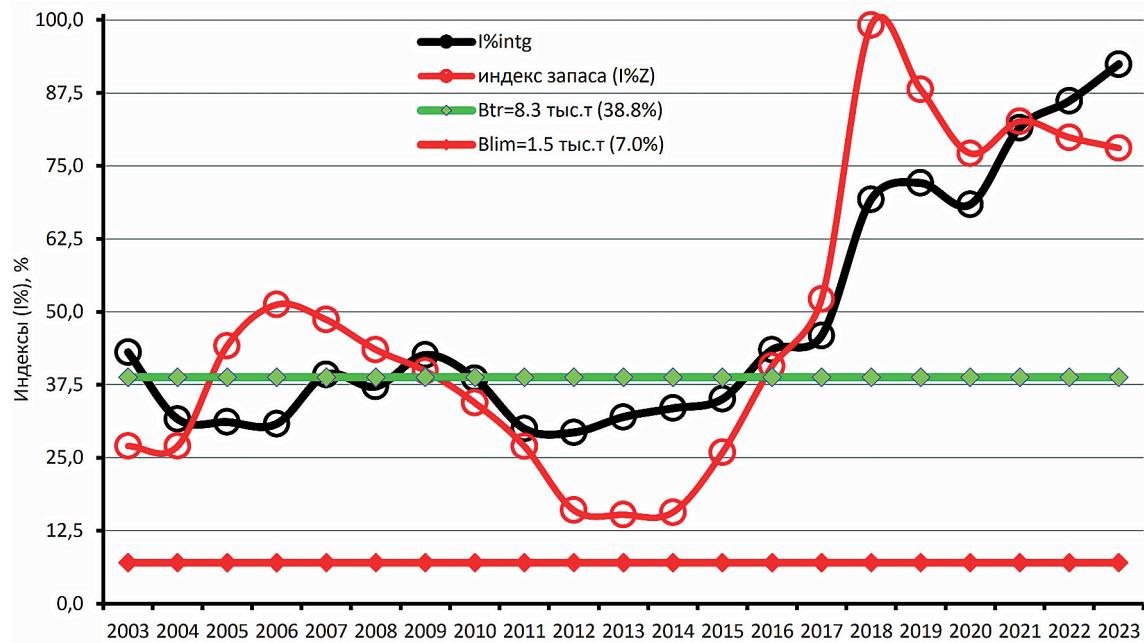
Но при этом следует подчеркнуть, что ретроспективную динамику интегрального или совокупного индекса  $I\%_{intg}$  необходимо строить в рамках принципа индикаторного метода «светофор», предложенного А.И. Буяновским с соавторами [2023]. Так, авторы, обсуждая расхождение цветов разных индикаторов в методе «светофора», приводят необходимость учитывать следующее обстоятельство «... Только при анализе их совокупного действия (индикаторов) повышается вероятность найти единственную непротиворечивую версию, которая отражает процессы, происходящие с реальным запасом. Чем больше индикаторов используется и чем более они независимы друг от друга, тем надёжнее итоговая (интегрированная) оценка» (цит. стр. 48). При таком подходе, в нашем случае совокупную оценку индекса  $I\%_{intg}$  надо строить на трёх независимых между собой индексах – промысловом запасе ( $I\%Z$ ), средней плотности изъятия краба с единицы площади за год ( $I\%P$ ) и среднесуточном вылове ( $I\%dV$ ) или ежегодном общем вылове

( $I\%V$ ). При построении интегрального индекса  $I\%_{intg}$  от индекса ежегодного вылова ( $I\%V$ ) пришлось отказаться в пользу среднесуточного вылова ( $I\%dV$ ) виду того, что за период 2003-2023 гг. разность между минимальными и максимальными значениями ежегодного вылова отличалась в 13,5 раза, а среднесуточного вылова в 5,5 раза (см. табл. 1).

В связи с этим, интегральная оценка промыслового запаса будет прописана в форме  $I\%_{intg} = (I\%Z + I\%dV + I\%P) / 3$  и визуализирована графически. Для ретроспективного сравнительного анализа этот график (рис. 8) дополнили динамикой индекса промыслового запаса ( $I\%Z$ ) и биологическими ориентирами. В рамках управления запасом камчатского краба в Северо-Охотоморской подзоне граничный ориентир по биомассе  $B_{lim}$  составляет 1,5 тыс. т, а целевой  $B_{tr}$  – 8,3 тыс. т, они установлены в 2015-2017 гг. [Буяновский и др., 2023].

При анализе рис. 8 следует обратить внимание на то, что с 2006 по 2009 гг. значения индекса  $I\%_{intg}$  имели тренд роста. Значения же индекса запаса ( $I\%Z$ ) стали снижаться после 2006 г. достигнув негативной зоны ( $Q_4$ ) в 2012-2014 гг. В целом, за 2003-2014 гг. колебание индексов  $I\%_{intg}$  и  $I\%Z$  периодически имели реверсивное направление. Различие между трендами индексов могло быть результатом как ННН-промышленной, так и «серой» (недостоверной) отчётности. Поэтому, после 2004 г. индексы  $I\%_{intg}$  и  $I\%Z$  не отражали рост промыслового запаса к 2006 г. и его снижение с 2007 г. вплоть до вступления запаса в негативную зону  $Q_4$  в 2012-2014 гг.

За весь период наблюдений с 2003 г., результаты индекса совокупной оценки ( $I\%_{intg}$ ) оказались менее вариабельными, чем сам индекс промыслового запаса ( $I\%Z$ ). Следует обратить внимание, на то, что с 2016 г. индекс интегральной оценки  $I\%_{intg}$  демонстрирует существенный рост и указывает на то, что промысловый запас с 2020 г. находится в зоне первого квартиля ( $Q_1$ ). Современная оценка состояния промыслового запаса хорошая, хотя его индекс  $I\%Z$  с 2017 г. и подвержен существенным колебаниям. А начиная с 2020-2021 гг. состояние промыслового запаса камчатского краба оценивается как очень хорошее, т. к. оба его индекса расположены в квартильной зоне  $Q_1$ . Учитывая вышеизложенное, с одной стороны интегрирование независимых между собой промысло-статистических индикаторов позволяет выравнивать их ретроспективную вариабельность (см. рис. 6-8). Но в то же время на рассматриваемом историческом отрезке индекс интегральной оценки  $I\%_{intg}$ , являясь дополнительным показателем к ретроспективной динамике индекса промыслового запаса  $I\%Z$ , графически



**Рис. 8.** Динамика индекса интегральной оценки ( $\%_{intg}$ ) и индекса промыслового запаса ( $\%Z$ ) камчатского краба в Северо-Охотоморской подзоне за 2003-2023 гг., где по оси абсцисс – годы наблюдений; по оси ординат диапазоны зон ( $Q_1-Q_4$ ): 100%  $\geq Q_1 > 75\%$ ; 75%  $\geq Q_2 > 50\%$ ; 50%  $\geq Q_3 > 25\%$ ; 25%  $\geq Q_4 > 0\%$ . Обозначения:  $B_{lim}$ ;  $B_{tr}$  (см. в тексте)

**Fig. 8.** Dynamics of the integral assessment index ( $\%_{intg}$ ) and the commercial stock index ( $\%Z$ ) of the red king crab in the northwestern part of the Sea of Okhotsk for 2003-2023, where the years of observations are on the abscissa axis; on the ordinate axis, the ranges of zones ( $Q_1-Q_4$ ): 100%  $\geq Q_1 > 75\%$ ; 75%  $\geq Q_2 > 50\%$ ; 50%  $\geq Q_3 > 25\%$ ; 25%  $\geq Q_4 > 0\%$ . Notation:  $B_{lim}$ ;  $B_{tr}$  (see in the text)

отображает реальное влияние промысловых индикаторов на состояние промыслового запаса аяно-шантарской популяции камчатского краба. На современном этапе видно, что эта единица запаса недоиспользуется рыбохозяйственной отраслью, так как целевой биологический ориентир управления существенно ниже оценки промыслового запаса. По-видимому, оптимальной характеристикой соотношению между значениями индекса промыслового запаса  $\%Z$  и совокупного индекса  $\%_{intg}$ , будут те значения индексов  $\%Z$  и  $\%_{intg}$ , которые будут варьировать между квартильными зонами  $Q_1$  и  $Q_2$  – от 65 до 85% (рис. 8).

Исходя из текущего состояния промыслового запаса камчатского краба аяно-шантарской популяции, промысел этого вида в ближайшие годы будет проходить, как и прежде, на одном или на двух промысловых участках Аяно-Шантарского района (см. рис. 1; 5). В этом районе с «доступным запасом», начиная с 2019 г. локализуется промысловый флот по добыче камчатского краба в Северо-Охотоморской подзоне.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В последнее время учётные съёмы проводятся с различным интервалом – до 2-4 лет, поэтому, существенно возрастает роль промыслово-статистических

параметров в оценке состояния запаса промысловых видов крабов. Одним из способов оценки состояния промыслового запаса камчатского краба аяно-шантарской популяции предложено применять ретроспективный анализ динамики ряда таких параметров, переформатировав их в относительные индексы. Индексы, выраженные в едином масштабе, иллюстрируются единственным блоком, что позволяет оперативно дать качественную оценку о текущем состоянии запаса и возможных его трендах на 1-2 года вперёд. Заключение о состоянии промыслового запаса проводится по аналогии его исторических тенденций, визуализированных в рамках четырёхзонального подхода (см. рис. 7) и по динамике индекса интегральной оценки запаса (рис. 8). Анализ ретроспективной динамики промысловых индексов показал следующее:

А) Крайне негативное влияние на промысловый запас аяно-шантарской популяции камчатского краба оказывает чрезмерный промысловый пресс с ежегодным выловом более 2,5-3 тыс. т (без учёта ННН-изъятия и искажённой информации вылова), когда промысловый запас за 3 года (2002-2004 гг.) оказался в негативной зоне. Продолжительное, до 5-6 лет ежегодное изъятие до 2-2,5 тыс. т, также оказалось негативное влияние на эту единицу запаса.

Б) Ретроспективная визуализация индексов промысловой статистики показала, что оперативное принятие управленческого решения по снижению изъятия краба и введение различных ограничительных мер ведёт к успешному восстановлению промыслового запаса камчатского краба через 3-4 года.

В) Схема ретроспективной динамики промыслового запаса камчатского краба (см. рис. 7; табл. 2) предполагает, что поступление новых данных (прямой учёт или промысловая статистика) позволяет оперативно дать качественную оценку текущему состоянию промыслового запаса.

В настоящий период хорошее состояние промыслового запаса аяно-шантарской популяции может сохраниться на уровне 13-16 млн экз. в ближайшие 2-3 года. Это взаимосвязано со снижением пресса, выразившегося в низких значениях ежегодного вылова краба (индекс  $I\%V$ ) и одновременно возросшими плотностями промысловых скоплений, что обеспечило высокие показатели индекса удельного изъятия ( $I\%P$ ) краба с промысловой площади. Также сегодня хорошая промысловая обстановка позволяет краболовным судам за счёт высоких показателей среднесуточного вылова ( $I\%dV$ ) за меньшее количество судо-суток осваивать установленные объёмы ОДУ.

### Благодарности

Авторы выражают искреннюю признательность и благодарность всем многочисленным коллегам – сотрудникам ТИНРО, ХабаровскНИРО и МагаданНИРО, участвовавшим в сборе данных по оценке состояния запаса камчатского краба аяно-шантарской популяции на протяжении более 30 лет. Авторы благодарны неизвестным рецензентам за сделанные ценные замечания, которые существенно улучшили представленную нами рукопись и расширили возможности использования предлагаемого подхода.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

### Финансирование

Работа была выполнена в рамках Госзадания ФГБНУ «ВНИРО».

### ЛИТЕРАТУРА

Алексеев Д.О., Буяновский А.И., Бизиков В.А. 2017. Принципы единой стратегии регулирования промысла крабов

и крабоидов в морях России // Вопросы рыболовства. Т. 18 (1). С. 21-41.

Бабаян В.К. 2000. Предосторожный подход к оценке общего допустимого улова (ОДУ): Анализ и рекомендации по применению. М.: ВНИРО. 192 с.

Бабаян В.К., Бобырев А.Е., Булгакова Т.И., Васильев Д.А., Ильин О.И., Ковалев Ю.А., Михайлов А.И., Михеев А.А., Петухова Н.Г., Сафаралиев И.А., Четыркин А.А., Шереметьев А.Д. 2018. Методические рекомендации по оценке запасов приоритетных видов водных биологических ресурсов. М.: Изд-во ВНИРО. 312 с.

Баканев С.В. 2022. Биологические основы эксплуатации запасов промысловых беспозвоночных в Баренцевом море. Автореф. дисс. докт. биол. наук. М.: ВНИРО. 49 с.

Бизиков В.А., Гончаров С.М., Поляков А.В. 2006. Новая географическая информационная система «Картмастер» для обработки данных биоресурсных съемок // VII Всеросс. конфер. пром. беспозв. М.: Изд-во ВНИРО. С. 18-24.

Буяновский А.И. 2012. Прогноз потенциального вылова прибрежных беспозвоночных при затруднении с оценкой запаса. Методические рекомендации. М.: Изд-во ВНИРО. 222 с.

Буяновский А.И. 2020. Динамика промысловых запасов синего краба в морях России с учетом данных промысловой статистики // Вопросы рыболовства. Т. 21. № 4. С. 423-439.

Буяновский А.И., Алексеев Д.О. 2017. Промысловая статистика как индикатор состояния запаса промысловых беспозвоночных // Вопросы рыболовства. Т. 18. № 3. С. 268-282.

Буяновский А.И., Алексеев Д.О., Сологуб Д.О., Бизиков В.А. 2023. Динамика запасов и регулирование промысла крабов в морях России. М.: Изд-во ВНИРО. 324 с.

Виноградов Л.Г. 1956. Камчатский краб: биология, воспроизводство, запасы // Труды ИО АН СССР. Т. 14. С. 115-118.

Виноградов Л.Г. 2013. Избранные труды. М.: Изд-во ВНИРО. 562 с.

Ильин О.И., Иванов П.Ю. 2015. Об одном модельном подходе к оценке состояния запасов камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* западнокамчатского шельфа // Изв. ТИНРО. Т. 182. С. 38-47.

Левин В.С. 2001. Камчатский краб *Paralithodes camtschaticus*. Биология, промысел, воспроизводство. СПб: Ижица. 198 с.

Лысенко В.Н. 2001. Особенности линьки камчатского краба (*Paralithodes camtschaticus*) на западнокамчатском шельфе // Исследования биологии промысловых ракообразных и водорослей морей России: М.: Изд-во ВНИРО. С. 111-119.

Михайлов В.И., Бандурин К.В., Горничных А.В., Каравес А.Н. 2003. Промысловые беспозвоночные шельфа и континентального склона северной части Охотского моря. Магадан: МагаданНИРО. 284 с.

Михеев А.А. 2003. Стохастическая когортная модель для беспозвоночных с прерывистым ростом // Биология, состояние запасов и условия обитания гидробионтов

- в Сахалино-Курильском регионе и сопредельных акваториях: Труды Сахалинского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии. Тр. СахНИРО. Т. 5. С. 216-242.
- Михеев А.А. 2004. Моделирование стохастических процессов в эксплуатируемых популяциях рыб и беспозвоночных // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Южно-Сахалинск: СахНИРО. 24 с.
- Михеев А.А., Букин С.Д., Первеева Е.Р., Крутченко А.А., Смирнов И.П. 2007. К проблеме учета промысловых беспозвоночных в популяциях с низким уровнем численности // Труды ВНИРО. Т. 147. С. 27-38.
- Михеев А.А., Букин С.Д., Первеева Е.Р., Живоглядова Л.А., Крутченко А.А., Смирнов И.П. 2012. Оценка запасов беспозвоночных в Сахалино-Курильском районе на основе анализа временных рядов уловов с применением фильтра Калмана // Изв. ТИНРО. Т. 168. С. 99-120.
- Моисеев С.И. 2003. Промыслово-биологические исследования камчатского краба (*Paralithodes camtschaticus*) в январе-марте 2002 г. в прибрежной зоне Варангер-фьорда (Баренцево море) // Труды ВНИРО. Т. 142. С. 151-177.
- Моисеев С.И. 2015. Некоторые морфометрические различия кleşней у камчатского краба аяно-шантарской популяции // Промысловые беспозвоночные: сб. материалов VIII Всерос. науч. конф. Калининград: КГТУ. С. 82-85.
- Моисеев С.И., Моисеева С.А. 2019. Исследования доминирующих промысловых видов крабов Охотского моря осенью 2018 г. и весной 2019 г. // Труды ВНИРО. Т. 177. С. 204-214.
- Моисеев С.И., Моисеева С.А. 2024. Результаты мониторинга промысловых видов крабов в северо-западной части Охотского моря летом 2023 г. // Труды ВНИРО. Т. 196. С. 193-199.
- Моисеев С.И., Сологуб Д.О., Слизкин А.Г., Лысенко А.В. 2022. Динамика индексов состояния запаса синего краба в западной части Берингова моря в 2005-2021 гг. // Труды ВНИРО. Т. 187. С. 18-32.
- Моисеев С.И., Сологуб Д.О., Шагинян Э.Р. 2021. Индекс относительной численности как оперативная оценка состояния запаса синего краба в заливе Шелихова Охотского моря // Труды ВНИРО. Т. 185. С. 5-21.
- Огурцов А.Ю. 2005. К методике оценки запаса волосатого краба по данным ловушечных съемок в Татарском проливе // Труды ВНИРО. Т. 144. С. 294-303.
- Родин В.Е. 1985. Пространственная и функциональная структура популяций камчатского краба // Известия ТИНРО. Т. 110. С. 86-97.
- Родин В.Е., Мясоедов В.И. 1982. Биологическая характеристика популяции камчатского краба в северо-западной части Охотского моря // Изв. ТИНРО. Т. 106. С. 3-10.
- Родин В.Е., Слизкин А.Г., Мясоедов В.И., Барсуков В.Н., Мирошников В.В., Згуровский К.А., Канарская О.А., Федосеев В.Я. 1979. Руководство по изучению десятиногих ракообразных Decapoda дальневосточных морей. Владивосток: Изд-во ТИНРО. 59 с.
- Соколов В.И. 2003. Распределение и некоторые особенности биологии массовых видов десятиногих ракообразных (Crustacea, Decapoda) в губе Териберка Баренцева моря // Труды ВНИРО. Т. 142. С. 77-91.
- Черниенко И.С. 2010. Рост камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* в северо-западной части Охотского моря // Известия ТИНРО. Т. 163. С. 185-198.
- Черниенко И.С. 2011. Биология и промысловый потенциал аяношантарской популяции камчатского краба *Paralithodes camtschaticus*. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Владивосток: ТИНРО-Центр. 20 с.
- Черниенко И.С. 2013. К уточнению популяционного статуса камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius) в северо-западной части Охотского моря // Известия ТИНРО. Т. 174. С. 158-169.
- Черниенко И.А. 2016. Моделирование динамики запаса колючего краба *Paralithodes brevipes* южных Курильских островов конечно-разностной моделью с запаздыванием // Изв. ТИНРО. Т. 185. С. 102-111.
- Черниенко И.С. 2021. Стандартизация производительности промысла краба-стригуня опилио западной части Берингова моря с использованием аддитивных линейных моделей // Известия ТИНРО. Т. 201 (2). С. 359-370.
- Черниенко И.С., Черниенко Э.П. 2019. Мультимодельный подход к прогнозированию некоторых единиц запаса водных биологических ресурсов Сахалино-Курильского региона // Вопросы Рыболовства. Т. 20. № 3. С. 374-386.
- Шипунов А.Б., Балдин Е.М., Волкова П.А., Коробейников А.И., Назарова С.А., Петров С.В., Суфиянов В.Г. 2012. Наглядная статистика. Используем R! М.: ДМК Пресс. 298 с.
- Halliday R.G., Fanning L.P., Mohn R.K. 2001 Use of the traffic light method in fishery management planning // CSAC Res. Doc. 108. 41 pp.

## REFERENCES

- Alekseyev D.O., Buyanovskiy A.I., Bizikov V.A. 2017. General organizing principles of a unified strategy for managing crabs and king crabs fishery in the seas of Russia // Problems of fisheries. V. 18. № 1. P. 21-41. (in Russ.)
- Babayan V.K. 2000. Precautionary Approach to Assessment of Total Allowable Catch (TAC): Analysis and practical recommendations. M.: Izd-vo VNIRO. 192 p. (in Russ.)
- Babayan V.K., Bobyrev A.E., Bulgakova T.I., Vasiliev D.A., Ilyin O.I., Kovalev Yu.A., Mikhailov A.I., Mikheev A.A., Petukhova N.G., Safaraliev I.A., Chetyrkin A.A., Sheremetev A.D. 2018. Methodological recommendations on the assessment of reserves of priority types of aquatic biological resources. Moscow: VNIRO Publishing House. 312 P. (in Russ.)
- Bakanov S. V. 2022. Biological bases of exploitation of commercial invertebrate stocks in the Barents Sea. Abstr. diss. doct. of sciences in biology. Moscow: VNIRO. 49 p. (in Russ.)
- Bizikov V.A., Goncharov S.M., Polyakov A. V. 2006. GIS «Chartmaster» – new geographic information system for

- processing the data of hydrological surveys // VII Vseross. Konfer. prom. bespozy. M.: Izd-vo VNIRO. P. 18-24. (in Russ.)
- Buyanovsky A.I. 2012. Forecast of potential catch for coastal invertebrates: data-poor cases. Moscow: Izd-vo VNIRO. 222 p. (in Russ.)
- Buyanovsky A.I. 2020. The blue king crab commercial stocks dynamics in the Russian seas with account on fisheries statistics // Problems of fisheries. V. 21. № 4. P. 423-439. (in Russ.)
- Buyanovsky A.I., Alexeyev D.O. 2017. Fisheries statistics as indicator of stock assessment of marine invertebrates // Problems of fisheries. V. 18. № 3. P. 268-282. (in Russ.)
- Buyanovsky A.I., Alexeyev D.O., Sologub D.O., Bizikov V.A. 2023. Dynamics of stocks and regulation of crab fishing in the seas of Russia. Moscow: VNIRO Publishing House. 324 p. (in Russ.)
- Vinogradov L.G. 1956. Red king Red king crab: biology, reproduction, reserves // Proceedings of the Institute of Oceanology of the USSR Academy of Sciences. V. 14. P. 115-118
- Vinogradov L.G. 2013. Selected works. M.: Publishing house VNIRO. 562 P.
- Ilyin O.I., Ivanov P.Yu. 2015. On one model approach to stock assessment for red king crab *Paralithodes camtschaticus* on the shelf of West Kamchatka // Izvestiya TINRO. V. 182. P. 38-47. (in Russ.)
- Levin V.S. 2001. Red King crab *Paralithodes camtschaticus*. Biology, fishing, reproduction. St. Petersburg: Izhitsa. 198 p. (In Russ.).
- Lysenko V.N. 2001. Features of the moulting of the red king crab (*Paralithodes camtschaticus*) on the West Kamchatka shelf // Studies of the biology of commercial crustaceans and algae of the seas of Russia. Moscow: VNIRO Publish. P. 111-119. (In Russ.).
- Mikhajlov V.I., Bandurin K.V., Gornichnykh A.V., Karasev A.N. 2003. Commercial invertebrates of shelf and continental slope of the northern part of the Okhotsk Sea. Magadan: MagadanNIRO. 284 p. (in Russ.)
- Mikheev A.A. 2003. A stochastic cohort model for invertebrates with the interrupted growth // Water life biology, resources status and condition of inhabitation in Sakhalin-Kuril region and adjoining water areas: Transactions of the Sakhalin Research Institute of Fisheries and Oceanography. Yuzhno-Sakhalinsk: SakhNIRO. V. 5. P. 216-242. (in Russ.)
- Mikheev A.A. 2004. Modelirovaniye stohasticheskikh processov v ekspluatiruemiy populyaciya ryb i bespozvonochnykh [Modeling of stochastic processes in exploited populations of fish and invertebrates] // Abstract of dissertation for the degree candidate of biological sciences (Ph.D.). Yuzhno-Sakhalinsk: SakhNIRO. 24 p. (in Russ.)
- Mikheyev A.A., Bukin S.D., Penjeyeva E.R., Krutchenko A.A., Smirnov I.P. 2007. To the problem of counting commercial invertebrates in low-abundant populations // Trudy VNIRO. V. 147. P. 27-38. (in Russ.)
- Mikheev A.A., Bukin S.D., Perveyeva E.R., Zhivoglyadova L.A., Krutchenko A.A., Smirnov I.P. 2012. Sakhalin-Kuril region invertebrate stock assessing based on the catch time series analysis with the Kalman filter application // Izvestiya TINRO. V. 168. P. 99-120. (in Russ.)
- Moiseev S.I. 2003. Fishery 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. 2015. Some morphometric differences of claws in the red king crab of the ayano-shantar population // Commercial invertebrates. Collec. of mat. of the VIII All-Russian Scient. Conf. Kaliningrad: KGTU. P. 82-85. (in Russ.)
- Moiseev S.I., Moiseeva S.A. 2019. Studies of the dominant commercial species of crabs of the Sea of Okhotsk in autumn 2018 and spring 2019 // Trudy VNIRO. V. 177. P. 204-214.
- Moiseev S.I., Moiseeva S.A. 2024. Results of monitoring of commercial crab species in the northwestern part of the Sea of Okhotsk in the summer of 2023 // Trudy VNIRO. V. 196. P. 193-199. (in Russ.)
- Moiseev S.I., Sologub D.O., Slizkin A.G., Lysenko A.V. 2022. Dynamics of indices of the state of the blue king crab stock in the western part of the Bering Sea in 2005-2021 // Trudy VNIRO. V. 187. P. 18-32. (in Russ.)
- Moiseev S.I., Sologub D.O., Shaginyan E.R. 2021. Relative abundance index as an operational assessment of the state of the king blue crab stock in the Shelikhov Bay of Okhotsk Sea // Trudy VNIRO. V. 185. P. 5-21. (in Russ.)
- Ogurtsov A.Yu. 2005. To the technique of the estimation of stock of *Erimacrus isenbeckii* based on crab trap survey data in the Tatar Strait // Trudy VNIRO. V. 144. P. 294-303. (in Russ.)
- Rodin V.E. 1985. Spatial and functional structure of the red king crab populations // Izvestiya TINRO. V. 110. P. 86-97. (In Russ.).
- Rodin V.E., Myasoedov V.I. 1982. Biological characteristics of the red king crab population in the northwestern part of the Sea of Okhotsk // Izvestiya TINRO. V. 106. P. 3-10. (In Russ.).
- Rodin V.E., Slizkin A.G., Myasoedov V.I., Barsukov V.N., Miroshnikov V.V., Zgurovsky K.A., Kanarskaya O.A., Fedoseev V.Ya. 1979. A guide to the study of Decapoda Decapod crustaceans of the Far Eastern seas. Vladivostok: Publishing house of TINRO. 59 p. (in Russ.)
- Sokolov V.I. 2003. On the biology and distribution of common Decapoda in the Teriberskaja guba, the Barents Sea // Trudy VNIRO. V. 142. P. 77-91. (in Russ.)
- Chernienko I.S. 2010. Growth of red king crab *Paralithodes camtschaticus* in the northwestern Okhotsk Sea // Izvestiya TINRO. V. 163. P. 185-198. (in Russ.)
- Chernienko I.S. 2011. Biology and fishing potential of the ayano-shantar population of the red king crab *Paralithodes camtschaticus*. PhD Abstr. in biology. Vladivostok: TINRO-Center. 20 p. (in Russ.)
- Chernienko I.S. 2013. On clarification of the population status of the Red King crab *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius) in the north- western part of the Sea of Okhotsk // Izvestiya TINRO. V. 174. P. 158-169. (In Russ.).

*Chernienko I.S. 2016. Modelling of stock dynamics for spiny king crab *Paralithodes brevipes* at southern Kuril Islands using a finite-difference model with delay // Izvestiya TINRO. V. 185. P. 102-111. (in Russ.)*

*Chernienko I.S. 2021. Standardization of landing efficiency for opilio crab in the western Bering Sea by using of generalized additive models // Izvestiya TINRO. V. 201, Iss. 2. P. 359-370. (in Russ.)*

*Chernienko I.S., Chernienko E.P. 2019. Multi-model approach to some marine biological resources stock forecast in Sakhalin-Kuril region // Problems of Fisheries. V. 20. № 3. P. 374-386. (in Russ.)*

*Shipunov A.B., Baldin E.M., Volkova P.A., Korobeynikov A.I., Nazarova S.A., Petrov S.V., Sufianov V.G. 2012. Visual statistics. We use R! M.: DMK Press. 298 p. (in Russ.)*

*Halliday R.G., Fanning L.P., Mohn R.K. 2001 Use of the traffic light method in fishery management planning // CSAC Res. Doc. 108. 41 pp.*

*Поступила в редакцию 28.01.2025 г.*

*Принята после рецензии 13.03.2025 г.*

УДК 574.52/594.58

## Промысловые виды и их биология

# Особенности возраста и роста кальмаров *Berryteuthis septemdentatus* и *B. magister*

В.Р. Зимина<sup>1</sup>, О.Н. Катугин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»), Окружной проезд, 19, Москва, 105187; Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (ФГБОУ ВО «МГУ им. М.В. Ломоносова»), г. Москва, Ленинские горы д.1, стр. 12, Москва, 119234

<sup>2</sup> Тихоокеанский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), пер. Шевченко, 4, Владивосток, 690091

SPIN-код: В.Р. Зимина – 3433-2821; О.Н. Катугин – 8379-6601

**Цель** работы – выявить различия в особенностях возраста и роста кальмара *Berryteuthis septemdentatus* из Японского моря и командорского кальмара *B. magister* из Берингова моря по возраст-регистрирующим структурам (статолитам).

**Методы**, использованные в работе, основаны на анализе возраст-регистрирующих структур: обработка статолитов, включая фиксацию, заливку и шлифовку, и последующий анализ полученных шлифов (подсчёт суточных приростов на срезах статолитов в проходящем свете и статистическая обработка счётных признаков для получения характеристик возраста и роста кальмаров).

**Результаты** позволили выявить видовые особенности роста кальмаров *B. septemdentatus* и *B. magister*; показано, что на ранних этапах онтогенеза у *B. septemdentatus* более высокие темпы роста, чем у *B. magister*; однако на более поздних этапах онтогенеза скорость роста *B. magister* выше, чем у *B. septemdentatus*.

**Обсуждение** выявленных различий в темпах роста двух морфологически и филогенетически близких видов кальмаров позволило предположить, что более высокий темп роста *B. septemdentatus* на более ранних онтогенетических стадиях может быть связан с тем, что у этого вида более крупные начальные размеры зрелых яиц и, как следствие, предположительно более крупные начальные размеры параларв после выхода из яйца. Однако с возрастом скорость роста *B. septemdentatus* становится меньше, чем у *B. magister*, по всей видимости, ввиду того, что первый вид обитает в более холодных условиях глубоководья Японского моря по сравнению с температурными условиями глубоководья районов обитания *B. magister*.

**Новизна** данной работы заключается в получении первых результатов сравнения возраста и роста кальмаров *B. septemdentatus* и *B. magister* на основании подсчёта колец роста на возраст-регистрирующих структурах (статолитах), а также в анализе возрастных характеристик сравнительно широкого размерного ряда особей *B. septemdentatus* с длиной мантии 141–203 мм.

**Ключевые слова:** *Berryteuthis septemdentatus*, *Berryteuthis magister*, статолиты, возраст, темпы роста, Японское море, Берингово море.

## Age and growth patterns in squid *Berryteuthis magister* and *B. septemdentatus*

Victoria R. Zimina<sup>1</sup>, Oleg N. Katugin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («ВНИРО»), 19, Okruzhnoy proezd, Moscow, 105187, Russia; M.V. Lomonosov Moscow State University («МСУ»), 1, build. 12, Leninskie Gory, Moscow, 119234, Russia

<sup>2</sup> Pacific branch of VNIRO («ТИНРО»), 4, per. Shevchenko, Vladivostok, 690091, Russia

**The purpose** of the study was to reveal differences in age and growth patterns in two closely related species: *Berryteuthis septemdentatus* from the Japan Sea and schoolmaster gonate squid *B. magister* from the Bering Sea based on the analysis of age determining structures such as statoliths.

**Methods** included preparation and processing of statoliths (extraction, gluing and grinding) and counting increments (growth lines) followed by further statistical analysis of daily increments and obtaining characteristics of squids' age and growth.

**Results** suggested that there were species-specific patterns in growth rates of these two squid species. It appeared that, at earlier ontogenetic stages, growth rates in *B. septemdentatus* are higher than in *B. magister*; however, at later ontogenetic stages, individuals of *B. magister* grow faster than *B. septemdentatus*.

**Discussion** on the revealed differences in growth patterns between these two morphologically and phylogenetically close species suggested that higher growth rates in *B. septemdentatus* at earlier ontogenetic stages might be related to larger size of ripe eggs and, henceforward, to larger size of newly hatched paralarvae. However, as the squid grow, growth rates in *B. septemdentatus* become slower than in *B. magister* presumably due to colder deepwater habitat in the Japan Sea for the former species compared to deep-sea areas occupied by the latter species.

**Scientific novelty** includes new information on growth rates and age in *B. septemdentatus* and its comparison with those in the schoolmaster gonate squid *B. magister* as revealed by the analysis of age-recording structures (statoliths), and the use of relatively large size range of *B. septemdentatus* with mantle length from 141 to 203 mm.

**Keywords:** *Berryteuthis septemdentatus*, *Berryteuthis magister*, statoliths, growth rates, the Japan Sea, the Bering Sea.

## ВВЕДЕНИЕ

Из кальмаров семейства Gonatidae промысловое значение имеют представители рода *Berryteuthis* Naef, 1923, который в настоящее время представлен двумя видами. Широко распространённый в Северной Пацифике *B. magister* Berry, 1913 является важным промысловым видом и характеризуется достаточно хорошей степенью изученности [Несис, 1982; Roper et al., 2010; Katugin et al., 2013; Алексеев, 2020]. В том числе, достаточно подробно описаны особенности его роста [Arkipkin et al., 1996]. Второй вид, *B. septemdentatus* Sasaki, 1915, является эндемиком Японского моря, считается потенциально промысловым видом [Шевцов, 1988; Бизиков, Филиппова, 1999], однако постоянного его промысла не существует. Вследствие этого он изучен в значительно меньшей степени. Полноценных исследований возраста, роста, а также популяционной биологии данного вида пока ещё не проводилось. В единственной работе, посвящённой оценке роста и возраста *B. septemdentatus* (авторы использовали название *B. magister shevtsovi*), приводятся оценки возраста и темпов роста по суточным отметкам на статолитах молоди и неполовозрелых особей кальмара [Lu et al., 2022]. Таким образом, любая новая информация о росте *B. septemdentatus* будет актуальна.

Целью настоящей работы является первоначальное описание характера темпов роста вида *B. septemdentatus*, определение возраста кальмаров из небольшой выборки, полученной из траловых уловов в северо-западной части Японского моря в 2014 году. Нами рассчитаны возраст (в днях) и темпы роста для более крупных особей из двух небольших выборок *B. septemdentatus* из Японского моря. В данной работе использованы оригинальные данные по определению возраста и темпов роста *B. septemdentatus*, а также приведено сравнение полученных данных с ранее опубликованными данными по возрасту и росту данного вида кальмара из Японского моря и данными по возрасту и росту близкородственного вида *B. magister*.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Две выборки *B. septemdentatus*, были собраны из уловов донных тралений, выполненных на НИС «Бухоро» («ТИНРО-Центр») на материковом склоне в северо-западной части Японского моря в июле (табл.).

Для всех собранных кальмаров был выполнен биологический анализ, включающий определение пола, стадий зрелости репродуктивной системы, измерение длины мантии с точностью до 1 мм, массы тела с точностью до 1 г; у самок также измеряли длину

Таблица. Дата и район сбора проб *B. septemdentatus*

Table. Date and area of sampling *B. septemdentatus*

Дата	Координаты	Количество экз.
11.07.2014	42°24,5' с.ш. 131°34,9' в.д.	19
18.07.2014	42°27,8' с.ш. 132°30,0' в.д.	19

нидаментальных желёз с точностью до 1 мм. Стадии зрелости гонад определяли по шкале стадий зрелости репродуктивной системы, используемой в ТИНРО [Федорец, 2006]: незрелые самки и самцы включают особей на 1 и 2 стадиях, созревающие самцы представлены особями на стадиях зрелости 3 и 4, зрелые самцы – на 5 стадии, созревающие самки – на стадиях 3-5, а зрелые самки представлены особями на стадии зрелости 6.

У всех проанализированных кальмаров извлекали левый и правый статолиты из органов равновесия, статоцистов, через разрез с центральной стороны в основании головы позади воронки. Для хранения статолиты помещали в 96%-ный этиловый спирт.

Обработку статолитов для последующего подсчёта суточных отметок роста выполняли по стандартной методике [Arkipkin, Shcherbich, 2012]. Статолиты зашлифовывали с двух сторон. Перед шлифовкой статолиты монтировали на предметное стекло при помощи смолы Crystalbond 509. Шлифовку с каждой стороны статолита проводили наждачной бумагой зернистостью 1000 или 1500 грид, а затем полировали на бумаге зернистостью 3000 грид. Всего оценки возраста были выполнены у 36 экземпляров кальмаров (27 самок и 9 самцов), поскольку у двух кальмаров пол не был определён.

Подготовленные статолиты с каплей глицерина накрывали покровным стеклом. Подсчёт возраста осуществляли не менее трёх раз на увеличении 40× микроскопа Микмед-6. За возраст в днях принимали среднее арифметическое значение посчитанного количества отметок роста на статолите (рис. 1). Первую отметку (личиночный статолит) принимали за первые сутки жизни.

Обработку данных выполняли в программе Microsoft Excel, с построением графиков зависимости возраста кальмаров от длины мантии (раздельно по полам и определением коэффициента детерминации ( $R^2$ ), по аналогии с тем, как это было выполнено в других подобных работах) [Arkipkin et al., 1996; 1998; Arkipkin, Shcherbich, 2012]. При выделении размерных классов по длине мантии кальмаров был использован шаг в 10 мм.

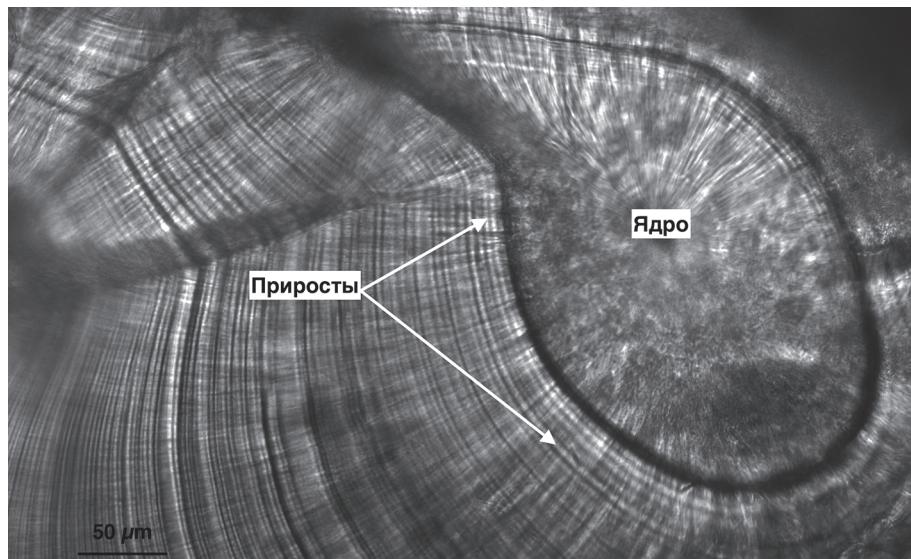


Рис. 1. Двухсторонний шлиф статолита кальмара *B. septemdentatus*  
 Fig. 1. Bilateral section of *B. septemdentatus* statolith

Ввиду малочисленности выборки и небольшого диапазона размерного ряда исследованных кальмаров (см. ниже), мы посчитали возможным пренебречь нелинейностью размерно-возрастной зависимости и в качестве функции линии тренда выбрать линейную зависимость  $y = a + b x$ , где:  $y$  – длина мантии в возрасте  $x$ ;  $a$  и  $b$  – оцениваемые параметры. Это обеспечило сопоставимость с полученными ранее данными о темпах роста *B. septemdentatus* [Lu et al., 2022].

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Всего было исследовано 27 самок, имеющих длину мантии от 151 до 203 мм, и 9 самцов с длиной мантии от 141 до 183 мм. При этом оценки возраста самок составили от 162 до 246 суток, самцов – от 157 до 222 суток. Гистограммы размерно-возрастной зависимости показаны на рис. 2.

Получены линейные уравнения роста:

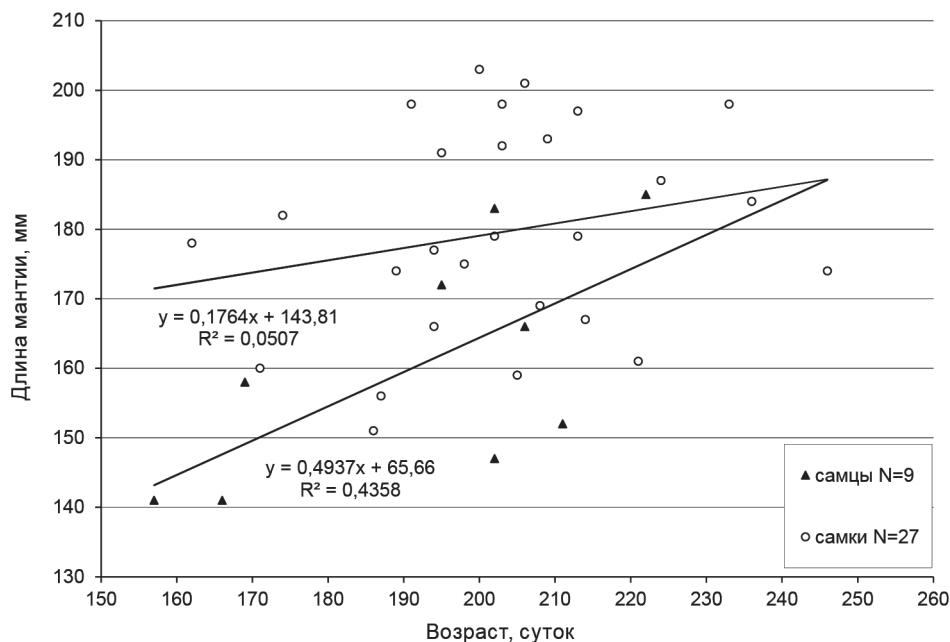
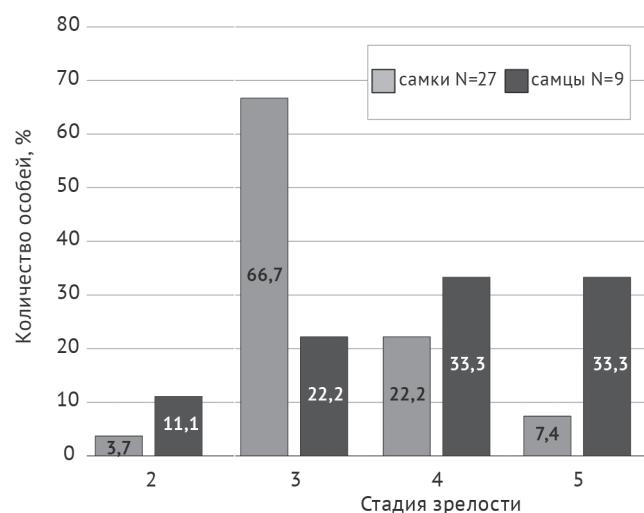


Рис. 2. Соотношение возраста и длины мантии у кальмаров *B. septemdentatus* из северо-западной части Японского моря  
 Fig. 2. Age and mantle length ratios in the squid *B. septemdentatus* from the northwestern Japan Sea

$y = 0,1764x + 143,81 (R^2 = 0,0507)$  для самок,  
 $y = 0,4937x + 65,66 (R^2 = 0,4358)$  для самцов,  
где:  $y$  – значение длины мантии;  $x$  – значение возраста в днях.

В первый выделенный нами размерный класс кальмаров с длиной мантии 141-150 мм входят только самцы в количестве трёх экземпляров, что соответствует 33,3% от выборки самцов. Следующая группировка кальмаров с длиной мантии 151-160 мм включает двоих из девяти самцов. В размерные классы 161-170 и 171-180 мм входят по одному самцу. Последняя выделенная по размерам группировка, в которую попадают два оставшихся самца, составляет по длине мантии 181-190 мм.

Четыре из двадцати семи самок имеют длину мантии от 151 до 160 мм. Следующий размерный класс кальмаров с длиной мантии 171-180 мм составляют 25,9% самок (семь из двадцати семи особей). Три экземпляра оказались с длиной мантии 181-190 мм. В предпоследний выделенный нами размерный класс (191-200 мм) попадают снова 25,9% самок, а особей с длиной мантии больше 201 мм оказалось только две.



**Рис. 3.** Соотношение стадий зрелости у самок и самцов *B. septemdentatus*, выловленных в июле 2014 года в северо-западной части Японского моря, для которых определены размерно-возрастные характеристики

**Fig. 3.** Ratios of mature stages of females and males in *B. septemdentatus* with determined size and age, caught in July 2014 in the northwestern Japan Sea

В целом, самки превосходили самцов по размеру, что подтверждается уровнем значимости  $p=0,01(<0,05)$ . Однако, при этом они немного отставали по темпам созревания: из девяти самцов по 33,3% от выборки приходилось на 4 и 5 стадии зрелости, двое самцов находились на стадии зрелости 3 и один

экземпляр – на стадии зрелости 2, в то время как из 27 самок 66,7% находились на 3 стадии, 22,2% – на стадии 4, две особи на стадии 5 и одна особь на стадии 2 (рис. 3).

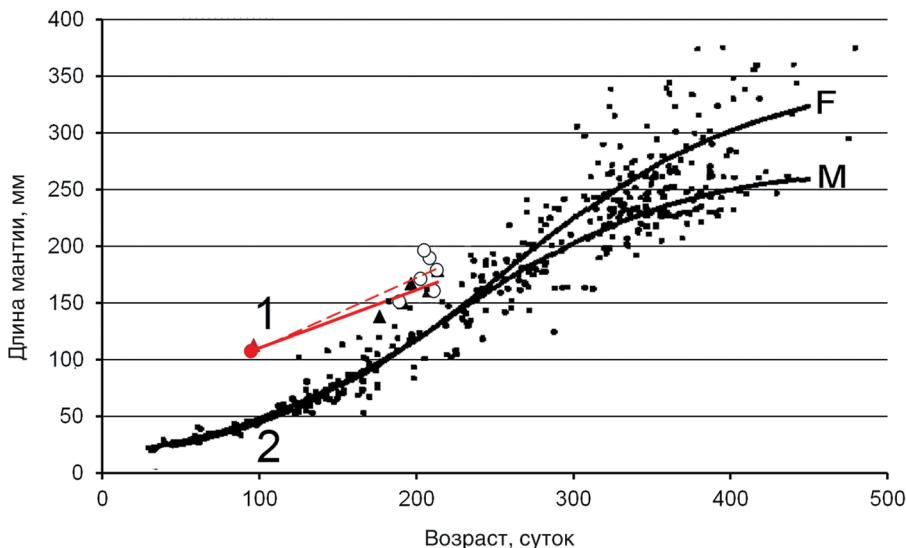
## ОБСУЖДЕНИЕ

Обращают на себя внимание полученные нами значения коэффициентов детерминации. Для самок значение  $R^2 = 0,0507$  можно объяснить не только небольшой выборкой, но, в первую очередь, большим разбросом величин длины мантии кальмаров, что возможно связано с индивидуальными особенностями роста самок, составляющими в нашей работе большую выборку по сравнению с самцами. Ранее было отмечено, что в пределах различных внутривидовых группировок командорского кальмара встречаются как тугорослые, так и быстрорастущие особи [Архипкин, Бизиков, 1996]. Возможно, именно эти особенности роста командорского кальмара иллюстрируют наличие облака значений размеров мантии у самок.

Для сравнения можно привести лишь данные единственной публикации, в которой обсуждаются возраст и особенности роста *B. septemdentatus* [Lu et al., 2022] (в работе используется название *B. magister shevtsovi*). В этой работе были исследованы кальмары возрастом 51-166 суток и длиной мантии 90-148 мм, собранные в декабре 2018 г. в районе с координатами  $35^{\circ}00'0''-39^{\circ}00'0''$  с. ш.,  $130^{\circ}35'0''-134^{\circ}00'0''$  в. д., на глубинах 200-600 м в юго-западной части Японского моря.<sup>1</sup> Указывалось, что кальмары находились на 2 и 3 стадиях зрелости (то есть незрелые и созревающие), определённых по универсальной шкале Архипкина [Arhipkin, 1992]. Для анализа роста самок авторами была выбрана линейная функция, описываемая уравнением  $y = 0,4328x + 75,893 (R^2 = 0,5939, n = 150)$ , где  $y$  – длина мантии в возрасте  $x$ . Для описания роста самцов авторы подобрали экспоненциальную модель  $y = 74,092e^{0,0044x} (R^2 = 0,6155, n = 111)$ .

Сравнительные данные размерно-возрастных характеристик кальмаров, изученных нами и Лю с соавторами [Lu et al., 2022], представлены на рис. 4. Для объединения этих данных были использованы средние значения возраста и длины мантии самцов и самок из работы коллег [Lu et al., 2022] (95, 39 суток и 116,88 мм; 93,39 и 112,06, мм, соответственно), а также средние значения по длиным мантии внутри выделенных нами размерных классов с соответствующим им средним возрастом. Уровень значимости объединённых данных по самкам составил  $R^2=0,7857$ ,

<sup>1</sup> Указанные в данной работе сроки поимки и орудия лова дают основания предполагать, что в информации о поимке материала могла быть допущена ошибка.



**Рис. 4.** Совмещённые диаграммы размерно-возрастной зависимости кальмаров *B. septemdentatus* из Японского моря в 2014 г. по нашим данным и 2018 г. по данным [Lu et al., 2022], точки обозначены красным, (1) и *B. magister* из Берингова моря [Arkhipkin et al., 1996] (2). Круги на графике (1) обозначают самок, треугольники – самцов, для графика (2): М – самцы, F – самки

**Fig. 4.** Combined diagrams of the size-age dependence of *B. septemdentatus* squid from the Japan Sea in 2014 according to our data and in 2018 according to [Lu et al., 2022], red points, (1) and *B. magister* from the Bering Sea [Arkhipkin et al., 1996] (2). Circles in graph (1) denote females, triangles denote males, for graph (2): M – males, F – females

по самцам –  $R^2=0,8677$ . Обращает на себя внимание сходный характер темпов роста кальмаров обоих полов при размерах мантии до 120 мм и возраста около 110 дней. Учитывая малую величину исследованной нами выборки, а также разные годы и сезоны сбора материала, обсуждать эти особенности темпов роста преждевременно. Однако на объединённом графике показано, что далее самки начинают несколько опережать самцов по темпам роста, что сходится с данными, полученными по командорскому кальмару [Arkhipkin et al., 1996].

Тем не менее, сравнение размерно-возрастных характеристик *B. septemdentatus* с выполненными ранее аналогичными оценками для командорского кальмара *B. magister* [Arkhipkin et al., 1996] указывает на наличие некоторых различий в особенностях роста этих двух близкородственных видов. В диапазоне размеров и возрастов кальмаров *B. septemdentatus*, которые были исследованы нами и Лю с коллегами [Lu et al., 2022], они опережали по темпам роста *B. magister* (см. рис. 4). Можно отметить, что для обоих видов различия в темпах роста самцов и самок были незначительными при длине мантии примерно до 150 мм. При этих размерах *B. septemdentatus* достигали при значительно меньшем возрасте, чем у *B. magister*. Это означает, что в течение первых этапов постэмбрионального развития *B. septemdentatus* опережает командорского кальмара по темпам роста.

Продолжительность жизненного цикла *B. magister* составляет около одного года, при максимально зарегистрированном возрасте до 400-450 суток [Архипкин и др., 1996; Алексеев, 2022]. Для *B. septemdentatus* максимальная продолжительность не известна, но оценка возможной продолжительности жизненного цикла также составляет один год [Алексеев, 2020]. При этом максимальные размеры, достигаемые кальмарами этих видов, сильно различаются. Максимальные размеры *B. magister* по длине мантии могут превышать 350 мм, средние размеры половозрелых самок составляют 250-260 мм, самцов – 220 мм [Arkhipkin et al., 1996; Федорец, 2006; Алексеев, 2020], тогда как размеры *B. septemdentatus* редко превышают 220 мм у самок и 170 мм у самцов [Katugin, 2000].

Предположительно, при сходной продолжительности жизни средние за весь период онтогенеза суточные линейные приrostы у командорского кальмара выше, чем у *B. septemdentatus*. Поскольку для кальмаров *B. septemdentatus* в возрасте до 246 суток темпы роста превышают таковые для командорского кальмара (см. рис. 4), это означает, что на более поздних этапах онтогенеза темпы роста *B. septemdentatus* снижаются быстрее, чем у *B. magister*. Вследствие этого максимальные известные размеры командорского кальмара оказываются значительно больше.

К сожалению, имеющихся в нашем распоряжении данных недостаточно для обоснованного обсужде-

ния этих различий. Сложность сравнения усугубляется тем, что обсуждаемые в работе материалы были собраны в разные годы, сезоны и в разных районах. Однако можно высказать несколько предположений о причинах обнаруженных различий. Известно, что *B. septemdentatus* в сравнении с командорским кальмарам в большей степени тяготеет к К-типу репродуктивной стратегии. Это выражается меньшей плодовитостью при более крупных размерах ооцитов по сравнению с *B. magister* [Нигматуллин и др., 1996; Katugin, 2000]. Вследствие этого вышедшие из яиц параларвы *B. septemdentatus* могут иметь более крупные размеры.

Не исключено также, что на темпы роста могут влиять гидрологические условия в водоёмах, населяемых этими видами. Известно, что в летние месяцы средние температуры сезонного прогрева поверхностного слоя воды в Японском море значительно выше, чем в Беринговом [Ростов и др., 2001]. Именно в этом слое в конце весны и летом наиболее часто обнаруживаются параларвы и ранняя молодь *B. magister*. Мы не нашли упоминаний о поимках ранней молоди *B. septemdentatus*, можно только предполагать, что его жизненный цикл и сроки появления молоди сходны с командорским кальмарам [Алексеев, 2020].

Взрослые особи обоих видов обитают в придонных слоях при различающемся температурном режиме. Командорский кальмар в Беринговом море приурочен к тёплому промежуточному слою воды со значениями температуры порядка +3,5-4 °C, на глубинах 200-600 м [Архипкин, 1996; Верхунов, 1996, Федорец, 2006]. Для *B. septemdentatus* в качестве основных глубин обитания указывается диапазон порядка 600-1500 м [Шевцов, 1988; Katugin, 2000; 2004]. В Японском море в пределах таких глубин располагается глубинная холодная водная масса с температурой воды около +0,2-0,7 °C [Ростов и др., 2001].

Если допустить, что значения температуры воды в биотопах, населяемых рассматриваемыми видами кальмаров на разных этапах онтогенеза, могут скрываться на темпах их роста, то упомянутые выше особенности гидрологических режимов Берингова и Японского морей могут гипотетически рассматриваться в качестве факторов, определяющих описанные нами особенности темпов роста *B. septemdentatus* и *B. magister*. Оценка обоснованности такого предположения требует получения дополнительных данных.

## Заключение

Различия в темпах роста *B. septemdentatus* и *B. magister* заключаются в более высоких темпах роста *B. septemdentatus* на более ранних этапах онтогенеза с последующим изменением соотношения и более

высокими темпами роста крупных особей *B. magister* на завершающем этапе онтогенеза. В качестве одной из гипотез, объясняющих такие различия, можно предложить, что они определяются более крупными «стартовыми» размерами ранней молоди *B. septemdentatus*. Ещё одним фактором, который может оказывать влияние на различия в темпах роста этих двух видов могут рассматриваться различия особенностей гидрологического режима в водных массах этих морей, служащих биотопами кальмаров на разных этапах их онтогенеза.

## Благодарности

Авторы выражают благодарность В.А. Бизикову за обучение изготовлению и чтению двухсторонних шлифов статолитов, консультации по теме возраста и роста командорского кальмара. Также выражается благодарность Д.О. Алексееву за ценные научные консультации по вопросам экологии кальмаров рода *Berryteuthis*, О.А. Хорошутиной за помощь с приобретением смолы, необходимой в изготовлении двухсторонних шлифов статолитов.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

## Соблюдение этических норм

В процессе исследования все этические нормы были соблюдены.

## Финансирование

Работа не имела спонсорского финансирования.

## ЛИТЕРАТУРА

- Алексеев Д.О. 2020. Пространственная биология командорского кальмара. Автореф. дисс. ... докт. биол. наук. М.: ВНИРО. 49 с.
- Алексеев Д. О. 2022. Пространственно-функциональная структура популяций кальмаров рода *Berryteuthis* в дальневосточных морях России // Труды ВНИРО. Т. 188. С. 13-48.
- Архипкин А.И., Бизиков В.А. 1996. Возрастная структура молоди командорского кальмара // Промысловое аспекты биологии командорского кальмара и рыб склоновых сообществ в западной части Берингова моря. М.: Изд-во ВНИРО. С. 96-101.
- Архипкин А.И., Бизиков В.А., Верхунов А.В. 1996. Размерно-возрастная структура, вертикальное распределение и возможные пути миграции молоди командорского кальмара // Промысловые аспекты биологии командорского кальмара и рыб склоновых сообществ в западной части Берингова моря: научные итоги беринговоморской экспедиции ВНИРО в 1993-1995 гг. по программе

- совместных российско-японских научных исследований командорского кальмара в Беринговом море (Биоресурсы морей России). М.: Изд-во ВНИРО. С. 145-148.
- Бизиков В.А., Филиппова Ю.А.** 1999. Российский промысел головоногих моллюсков имеет шансы на возрождение // Рыбное хозяйство. № 3. С. 32-36.
- Верхунов А.В.** 1996. Гидрологическая обстановка в августе и октябре 1995 г. // Промысловые аспекты биологии командорского кальмара и рыб склоновых сообществ в западной части Берингова моря: научные итоги берингоморской экспедиции ВНИРО в 1993-1995 гг. по программе совместных российско-японских научных исследований командорского кальмара в Беринговом море. С. 25-37.
- Несис К.Н.** 1982. Краткий определитель головоногих моллюсков Мирового океана. М: Легкая и пищевая пром-ть. 360 с.
- Нигматуллин Ч.М., Лаптиховский В.В., Сабиров Р.М.** 1996. Репродуктивная биология командорского кальмара // Промысл. аспекты биологии командорского кальмара и рыб склоновых сообществ в западной части Берингова моря. М.: Изд-во ВНИРО. С. 101-124.
- Ростов И.Д., Юрасов Г.И., Рудых Н.И., Мороз В.В., Дмитриева Е.В., Набиуллин А.А., Храпченков Ф.Ф., Ростов В.И., Бунин В.М.** 2001. Атлас по океанографии Берингова, Охотского и Японского морей. Владивосток: ТОИ им. В.И. Ильинчева ДВО РАН. 106 с.
- Федорец Ю.А.** Командорский кальмар *Berryteuthis magister* (Berry, 1913) Берингова и Охотского морей (распределение, биология, промысел). 2006. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Владивосток: ТИИРО-Центр. 24 с.
- Шевцов Г.А.** 1988. Командорский кальмар (*Berryteuthis magister*) банки Кита-Ямато экономической зоны СССР Японского моря // Сырьевые ресурсы и биологические основы рационального использования промысловых беспозвоночных. Тез. докл. Всесоюз. совещ. Владивосток: ТИИРО. С. 78-79.
- Alexeyev D.O., Katugin O.N., Bizikov V.A.** 2022. Taxonomic status of squids of the genus *Berryteuthis* Naef, 1921 (Gonatidae, Oegopsida) inhabiting the Sea of Japan // Ruthenica, Russian Malacological Journal. V. 32. № 2. P. 53-59. DOI 10.35885/ruthenica.2022.32(2).1
- Arkhipkin A.I., Bizikov V.A., Nesis K.N.** 1996. Distribution, stock structure, and growth of the squid *Berryteuthis magister* (Berry, 1913) (Cephalopoda, Gonatidae) during summer and fall in the western Bering Sea // Fishery Bulletin. V. 94. P. 1-30.
- Arkhipkin A.I., Bizikov V.A., Verkhunov A.V.** 1998. Distribution and growth in juveniles of the squid *Berryteuthis magister* (Cephalopoda, Gonatidae) in the western Bering Sea // Sarsia. V. 83. № 1. P. 45-54. DOI 10.1080/00364827.1998.10413668
- Arkhipkin A.I., Shcherbich Z.N.** 2012. Thirty years' progress in age determination of squid using statoliths // Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom. V. 92. № 6. P. 1389-1398. DOI 10.1017/S0025315411001585
- Arkhipkin A.I.** 1992. Reproductive system structure, development and function in cephalopods with a new general scale for maturity stages // Journal of Northwest Atlantic Fishery Science. V. 12. P. 63-74.
- Katugin O.N.** 2000. A new subspecies of the schoolmaster gonate squid, *Berryteuthis magister* (Cephalopoda: Gonatidae), from the Japan Sea // The Veliger. V. 43. № 1. P. 82-97.
- Katugin, O. N.** 2004. Squids of the family Gonatidae from the North Pacific Ocean and their genetic differentiation: controversial issues in their systematics and phylogeny // Ruthenica, Russian Malacological Journal. V. 14. № 1. P. 73-87.
- Katugin O.V., Shevtsov G.A., Zuev M.A., Didenko V.D., Kulik V.V., Vanin N.S.** 2013. *Berryteuthis magister*, Schoolmaster Gonate squid // Advances in Squid Biology. Ecology and Fisheries. Part II – Oegopsid squids. New York: Nova Science Publishers. P. 1-48.
- Lu H.J., Ou Y.Z., Teng Y., Chen Z.Y., Chen X.** 2022. Age, growth and population structure analyses of the *Berryteuthis magister shevtsovi* in the Japan Sea by statolith microstructure // Fishes. V. 7. № 5. P. 215. DOI 10.3390/fishes7050215
- Roper C.F.E., Jorgensen E.M., Katugin O.N., Jereb P.** 2010. Family Gonatidae Hoyle, 1886 // Cephalopods of the world: An annotated and illustrated catalogue of Cephalopod species known to date. V. 2. Myopsid and Oegopsid Squids. Rome: FAO. P. 200-222.

## REFERENCES

- Alexeyev D.O.** 2020. Spatial biology of the schoolmaster gonate squid. Abstr. of Doc. of Science in Biology diss. Moscow: VNIRO. 49 p. (In Russ.).
- Alexeyev D.O.** 2022. Spatial and functional structure in populations of squid of the genus *Berryteuthis* in the Russian Far Eastern seas // Trudy VNIRO. V. 188. P. 13-48. (In Russ.).
- Arkhipkin A.I., Bizikov V.A., Verkhunov A.V.** 1996. Size and age structure, vertical distribution and possible migration routes of the Commander squid juveniles // Fishery aspects of biology of schoolmaster gonate squid and fishes of slope communities of the western Bering Sea. Moscow: VNIRO Publish. P. 145-148. (In Russ.).
- Bizikov V.A., Filippova Yu.A.** 1999. Russian cephalopod fishery has chances for revival // Rybnoe khozyaystvo. № 3. P. 32-36. (In Russ.).
- Verkhunov A.V.** 1996. Hydrological situation in August and October 1995 // Fishery aspects of biology of schoolmaster gonate squid and fishes of slope communities of the western Bering Sea. Moscow: VNIRO Publish. P. 25-37. (In Russ.).
- Nesis K.N.** 1982. Brief identification guide to cephalopods of the World Ocean. Moscow: Light and food industry. 360 p. (In Russ.).
- Nigmatullin Ch.M., Laptikhovsky V.V., Sabirov R.M.** 1996. Reproductive biology of the Commander squid // Fishery aspects of biology of schoolmaster gonate squid and

- fishes of slope communities of the western Bering Sea. Moscow: VNIRO Publish. P. 101-124. (In Russ.).
- Rostov I.D., Yurasov G.I., Rudykh N.I., Moroz V.V., Dmitrieva E.V., Rostov V.I., Nabiullin A.A., Khrapchenkov F.F., Bunin V.M. 2001. Atlas of oceanography of the Bering and Japan Seas. Vladivostok: V.I. Il'ichev TOI FEO RAS. 106 p. (In Russ.).
- Fedorets Yu.A. 2006. Commander squid *Berryteuthis magister* (Berry, 1913) from the Bering Sea and the Okhotsk Sea (distribution, biology, fishing). Abstr. PhD diss. in biology. Vladivostok: TINRO. 24 p. (In Russ.).
- Shevtsov G.A. 1988 a. Instruction for fishing commander squid in the Kita-Yamato Bank of the Japan Sea. Vladivostok: TINRO Publish. 14 p. (In Russ.).
- Shevtsov G.A. 1988 6. Commander squid (*Berryteuthis magister*) from the Kita-Yamato Bank in the economic zone of USSR in the Sea of Japan // Resources and the biological basis of rational use of commercial invertebrates. All-Union Conf. Vladivostok: TINRO Publish. P. 78-79. (In Russ.).
- Alexeyev D.O., Katugin O.N., Bizikov V.A. 2022. Taxonomic status of squids of the genus *Berryteuthis* Naef, 1921 (Gonatidae, Oegopsida) inhabiting the Sea of Japan // Ruthenica, Russian Malacological Journal. V. 32. № 2. P. 53-59. DOI 10.35885/ruthenica.2022.32(2).1
- Arkhipkin A.I., Bizikov V.A., Nesis K.N. 1996. Distribution, stock structure, and growth of the squid *Berryteuthis magister* (Berry, 1913) (Cephalopoda, Gonatidae) during summer and fall in the western Bering Sea // Fishery Bulletin. V. 94. P. 1-30.
- Arkhipkin A.I., Bizikov V.A., Verkhunov A.V. 1998. Distribution and growth in juveniles of the squid *Berryteuthis magister* (Cephalopoda, Gonatidae) in the western Bering Sea // Sarsia. V. 83. № 1. P. 45-54. DOI 10.1080/00364827.1998.10413668
- Arkhipkin A.I., Shcherbich Z.N. 2012. Thirty years' progress in age determination of squid using statoliths // Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom. V. 92. № 6. P. 1389-1398. DOI 10.1017/S0025315411001585
- Arkhipkin A.I. 1992. Reproductive system structure, development and function in cephalopods with a new general scale for maturity stages // Journal of Northwest Atlantic Fishery Science. V. 12. P. 63-74.
- Katugin O.N. 2000. A new subspecies of the schoolmaster gonate squid, *Berryteuthis magister* (Cephalopoda: Gonatidae), from the Japan Sea // The Veliger. V. 43. № 1. P. 82-97.
- Katugin, O. N. 2004. Squids of the family Gonatidae from the North Pacific Ocean and their genetic differentiation: controversial issues in their systematics and phylogeny // Ruthenica, Russian Malacological Journal. V. 14. № 1. P. 73-87.
- Katugin O.V., Shevtsov G.A., Zuev M.A., Didenko V.D., Kulik V.V., Vanin N.S. 2013. *Berryteuthis magister*, Schoolmaster Gonate squid // Advances in Squid Biology. Ecology and Fisheries. Part II – Oegopsid squids. New York: Nova Science Publishers. P. 1-48.
- Lu H.J., Ou Y.Z., Teng Y., Chen Z.Y., Chen X. 2022. Age, growth and population structure analyses of the *Berryteuthis magister shevtsovi* in the Japan Sea by statolith microstructure // Fishes. V. 7. № 5. P. 215. DOI 10.3390/fishes7050215
- Roper C.F.E., Jorgensen E.M., Katugin O.N., Jereb P. 2010. Family Gonatidae Hoyle, 1886 // Cephalopods of the world: An annotated and illustrated catalogue of Cephalopod species known to date. V. 2. Myopsid and Oegopsid Squids. Rome: FAO. P. 200-222.

Поступила в редакцию 14.01.2025 г.  
Принята после рецензии 15.02.2025 г.

УДК 597.552.511:59.087:528.946

## Промысловые виды и их биология

# Опыт ГИС-картирования нерестилищ и распределения тихоокеанских лососей в модельных реках Западной Камчатки с использованием архивных данных

В.Н. Леман<sup>1</sup>, А.А. Леман<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> ООО «ЭНСОР», Большая Садовая, 14, Москва, 123001

E-mail: leman@vniro.ru

SPIN-код: Леман В.Н. 6278-8636, Леман А.А. Author ID 184703

**Целью работы** является разработка методических приёмов ГИС-картирования нерестилищ тихоокеанских лососей по результатам аэровизуальных учётов их численности и распределения в речных системах. **Используемые методы:** оцифровка архивных материалов, составление базы пространственных данных, ГИС-картирование. **Новизна:** на основе разработанных подходов для пяти видов тихоокеанских лососей на примере двух модельных рек проведено геоинформационное картирование распределения их нерестилищ, численности и встречаемости в речной системе. **Результат:** картографическая база данных в виде набора электронных карт на единой цифровой основе масштаба 1:200 000 с нанесёнными координатами. Ввод, поиск и использование картографической информации осуществляется по общепринятой процедуре, предусмотренной ГИС-технологиями. Все карты имеют идентичную структуру базы данных и сгруппированы в 4 тематических раздела: каталог водотоков бассейнов рек Кол и Кекта (Кунтово); пространственное расположение нерестилищ в речной системе – отдельно для каждого вида (горбуша, кета, чавыча, нерка, кижуч) и сводная карта по всем видам; видовое разнообразие тихоокеанских лососей, в том числе карта распространения проходной микижи; нерестовое значение водотоков в воспроизводстве отдельных видов тихоокеанских лососей. Предложен индекс плотности распределения нерестилищ в реках, рассчитываемый как отношение площади нерестилищ к протяжённости водотока или его участка. **Практическая значимость:** результаты исследований могут представлять методический интерес для картирования нерестового фонда тихоокеанских лососей на российском Дальнем Востоке.

**Ключевые слова:** тихоокеанские лососи, карта нерестилищ, цифровизация архивных данных, Камчатка.

## A case study of mapping archive data on spawning ground's locations and distribution of pacific salmon in sample rivers of Western Kamchatka

Vsevolod N. Leman<sup>1</sup>, Alexandra A. Leman<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> «ЕНСОР» LLP, 14, Bolshaya Sadovaya, Moscow, 123001 Russia

**The aim of the work** is to develop methodological approaches to GIS mapping of Pacific salmon spawning grounds based on the results of aerial visual surveys of their abundance and distribution in river systems. **Methods used:** digitization of archive materials, compilation of spatial databases, GIS mapping. **Novelty:** The mapping of the distribution of spawning grounds, abundance and occurrence of five Pacific salmon species in two model river systems was carried out based on the developed approaches. **The results obtained:** GIS-database including a set of electronic maps on a single geo-referenced digital basis at a scale of 1:200000. The input, search and use of cartographic information is carried out according to the generally accepted procedure provided by GIS technologies. All maps have an identical database structure and are grouped into 4 thematic sections: a list of watercourses of the Kol and Kekhta (Kuntovo) river basins; spatial distribution of spawning grounds in the river system – separately for each of the species (pink salmon, chum salmon, chinook salmon, sockeye salmon, coho salmon) and a map which summarized data for all species; species diversity of Pacific salmon, including a map of the distribution of the anadromous mykiss *Parasalmo mykiss*; contribution of watercourses regarding in the reproduction of subject species. A density index of spawning grounds is proposed to be calculated as the ratio of the area of spawning grounds to the length of a watercourse or its section. **Practical significance:** The research results is of methodological significance for mapping of the spawning stock of Pacific salmon in the Russian Far East.

**Keywords:** pacific salmon, map of spawning grounds, digitalization of archive data, Kamchatka.

## ВВЕДЕНИЕ

Аэровизуальная съёмка и применение её результатов в целях учёта численности тихоокеанских лососей в реках начата на Дальнем Востоке в 1950-60 гг. [Кротиус, 1955; Остроумов, 1962; 1964; 1975; Евзеров, 1979; 1983 и др.] и продолжается до сих пор [Пастырев, 2007; Фадеев и др., 2019; Шевляков и др., 2019; Шевляков, Шубкин, 2020 и др.], но с меньшим территориальным охватом и постепенным переходом с малой авиации на беспилотные летательные аппараты [Запорожец, Запорожец, 2017; Фадеев и др., 2019; Запорожец и др., 2020; Свиридов, Золотухин, 2020; Свиридов и др., 2022 а, б; Никифоров и др., 2023; Скоприк, 2023; Wirth et al., 2012; Whitehead et al., 2014; Harrison et al., 2020 и др.]. В результате многолетних работ в рыболово-промысловых институтах был накоплен большой массив данных, требующий на современном этапе осмыслиения и формализации для дальнейшего использования. Наглядным способом представления этой информации является составление карт нерестилищ и распределения лососей в речных бассейнах. Однако исторически подавляющий объём собираемой информации оформлялся в виде машинописных отчётов с таблицами, графиками и картосхемами, которые, отличаясь по исполнению и детальности, не были пригодны к переносу на картографическую основу без предварительной цифровой обработки. В настоящее время картографическая визуализация архивных материалов на регулярной основе не проводится. Данная статья содержит практические рекомендации по обработке первичной архивной информации и последующего создания с использованием ГИС-технологий тематических карт распределения нерестилищ лососей.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Методические приёмы построения карт нерестилищ тихоокеанских лососей отработаны на примере двух западно-камчатских рек – Коль и Кехта (Кунтovo), взятых в качестве модельных объектов (см. рис. 1). В 2006 г. здесь был образован государственный экспериментальный биологический (лососевый) заказник регионального значения «Река Коль» [Леман, Лошкова, 2005; Постановление ..., 2006<sup>1</sup>; 2016<sup>2</sup>]. Выбор

данного района был определён его высокой обеспеченностью аэровизуальными учётами численности и распределения лососей в речной системе и их чёткой пространственной привязкой к водным объектам [Остроумов, 1989<sup>3</sup>; 1999<sup>4</sup>].

В бассейнах рек Коль и Кехта (Кунтово) почти все водотоки используются тихоокеанскими лососями в качестве нерестово-нагульных, т. е. относятся к водным объектам высшей рыбохозяйственной категории. Видовой состав ихтиофауны в районе работ включает 6 видов тихоокеанских лососей: горбуша *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1792), кета *O. keta* (Walbaum, 1792), нерка *O. nerka* (Walbaum, 1792), чавыча *O. tshawytscha* (Walbaum, 1792), кижуч *O. kisutch* (Walbaum, 1792), сима *O. masou* (Brevoort, 1986), 2 вида гольцов рода *Salvelinus* – мальма *S. malma* (Walbaum, 1792) и кунджа *S. leucomtaenias* (Pallas, 1814), а также микижу *Parasalmo mykiss* (Walbaum, 1792), проходная форма которой (камчатская сёмга) занесена в Красную книгу Российской Федерации [Красная книга ..., 2021]. Помимо лососевых рыб, в данных реках встречаются азиатская зубатая корюшка *Osmerus mordax dentex* Steindachner, 1870, вахня, дальневосточная навага *Eleginops gracilis* (Tilesius, 1810), трёхиглая колюшка *Gasterosteus aculeatus* L., 1758, девятииглая колюшка *Pungitius pungitius* (L., 1758), амурская колюшка *Pungitius sinensis* (Guichenot, 1869), звёздчатая камбала *Platichthys stellatus* (Pallas, 1787), плоскоголовая (дальневосточная) широколобка, керчак *Megalocottus platycephalus* (Pallas, 1814), тихоокеанская минога *Lethenteron camtschaticum* (Tilesius, 1811) [Павлов и др., 2009].

Обе модельные реки, имея смежные водосборы (их устья находятся в 15 км друг от друга), образуют единую территорию площадью 2237 км<sup>2</sup>. Длина р. Коль составляет 122 км, площадь водосбора – 1580 км<sup>2</sup>. В неё впадают 4 основных притока – Коклянка длиной 46 км, Чаевая (10 км), Красная (18 км), Нилкина (9 км), а также 18 притоков длиной менее 10 км общей протяжённостью 48 км и 144 ручья (87% от общего числа водотоков), суммарная длина которых 367 км, что составляет 43% от общей длины всех водотоков. Большинство малых водотоков не имеют

<sup>1</sup> Постановление администрации Камчатской области от 25 апреля 2006 г. № 206 «Об образовании экспериментального биологического (лососевого) заказника регионального значения "Река Коль"», 2006. 41 с. <https://kamgov.ru/files/5c6e25d3196c00.30233946.pdf?ysclid=m6unqhw5t8618690702.07.02.2025>.

<sup>2</sup> Постановление Губернатора Камчатского края от 22 апреля 2016 г. № 42 «О продлении срока функционирования государственного экспериментального биологического (лососевого) заказника регионального значения "Река Коль"», 2016. 1 с. <https://kamgov.ru/>

[document.frontend-document/view-nra?id=11604&ysclid=m6uns2gbh4142188988.077.02.2025](https://document.frontend-document/view-nra?id=11604&ysclid=m6uns2gbh4142188988.077.02.2025)

<sup>3</sup> Остроумов А.Г. 1989. Нерестовый фонд лососей рек юго-западной Камчатки. Отчёт о НИР КамчатНИРО. № 5245, № ГР 01880073029. Петропавловск-Камчатский. 70 с.

<sup>4</sup> Остроумов А.Г. 1999. Нерестовое значение рек и озер Камчатской области и Корякского автономного округа (западное побережье). Отчёт о НИР КамчатНИРО. № 6472, № ГР 01980008756. Петропавловск-Камчатский. 122 с.

названия. На водосборе имеются 58 озёр общей площадью 1,18 км<sup>2</sup>. Свыше 54% длины основного русла реки лежит в зоне высот до 200 м, около 34% – от 201 до 500 м над уровнем моря [Ресурсы ..., 1966].

Река Кехта имеет длину 73 км, площадь водосбора – 657 км<sup>2</sup>, в неё впадают 24 притока длиной <10 км общей протяжённостью 64 км. Наиболее крупный приток – р. Кунтово, длиной 53 км. На водосборе имеются 40 озёр с общей акваторией 1,40 км<sup>2</sup>. Река протекает преимущественно в высотной зоне до 200 м, на высоты от 201 до 500 м над уровнем моря приходится около 10% длины русла [Ресурсы ..., 1966].

В качестве исходных данных при картировании нерестилищ использованы архивные материалы аэровизуальных учётов на реках Коль и Кехта (Кунтово), выполненных Камчатским филиалом ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» с применением малой пилотируемой авиации [Остроумов, 1962; 1964; 1975]. Учёты проводились для пополнения базы данных о численности рыб, зашедших на нерест, и их распределении по речной сети. Для р. Коль информация имеется для кеты, горбуши и нерки с 1957 г., для чавычи и кижуча – с 1968 и 1975 гг., соответственно. Для р. Кехта аналогичные данные есть для кеты и горбуши с 1959 г., кижуча с 1975 г., для чавычи и нерки с 1998 г. [Остроумов, 1989]. Дополнительные материалы были получены сотрудниками кафедры ихтиологии биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова [Павлов и др., 2009; Кузишин, 2010], а также в ходе собственных пеших учётов численности в 2004-2005 гг. Для представителей других видов лососевых рыб (голец, кунджа, микижа, сима) количественные данные по площадям нерестилищ и численности отсутствуют.

Для визуализации табличных данных, имеющих пространственную привязку, рекомендуются к применению картографические программы (платные – ArcGIS (ESRI) и бесплатные – QGIS) [Шевляков и др., 2013; Глубоковский и др., 2017]. В данной работе уточнение пространственных границ нерестилищ осуществлялось на картографической основе, представленной Российской агентством по геодезии и картографии. Цифровая модель территории, соответствующая листам топографической карты масштаба М:200000, разработана ООО «Дата+». Исходная географическая информация представлена в виде картографических слоёв формата ArcView 8.2 и базы географически привязанных данных формата MS Access [Лошкарева, 2008].

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Процесс картирования нерестового фонда состоит из ряда, последовательно выполняемых этапов работ:

- подготовка картографической основы определённого масштаба, достаточного для отображения гидрографической сети;
- оценка полноты, достоверности и систематизация (стандартизация) архивных данных, имеющих, как правило, табличную форму;
- перевод архивных данных, содержащихся в отраслевой отчёtnости, в стандартизированную электронную форму;
- преобразование табличных данных в пространственный или точечный объект, который можно отобразить на карте.

На первом этапе ГИС-картирования нерестового фонда лососей составляется гидрологический каталог водных объектов. Для этого каждому водотоку, отображаемому на карте масштаба 1:200000 (см. рис. 1), присваивается уникальный индекс, что делает возможным географическую привязку табличных данных. Для основных рек и притоков разных порядков вводятся цифровые коды, состоящие из нескольких (от 1 и более) индексов, указанных через дефис. Число индексов зависит от порядка водотока и его удалённости от основной реки. Реки Коль, Кехта и Кунтово выступают как главные водотоки с кодами I, II и III, соответственно, а их притоки 1-го, 2-го и 3-го порядков имеют численные коды 1, 2 и 3, соответственно. Водотоки 4-го порядка и выше в нумерацию вводить нецелесообразно из-за неточности их отображения на топографической карте масштаба 1:200000. Для разбиения основного русла на участки при необходимости вводятся буквенные обозначения. Такой подход позволяет облегчить автоматизацию обработки информации, хранимой в базе данных. Кроме того, учитывая, что не каждая река, отображаемая на карте масштаба 1:200000, имеет название, индексация облегчает процесс распознавания водных объектов и исключает возможные ошибки, связанные с наличием одинаковых названий.

Важнейший этап ГИС-картирования нерестового фонда – инвентаризация и стандартизация архивных материалов, представленных в виде бумажных отчётов, и их перенос, после выверки, в электронную базу данных формата MS Access. Структура такой базы данных разрабатывается с учётом необходимости географической привязки текстовых и табличных данных для графического представления в рамках ГИС.

Для картографической визуализации табличных данных, требуется, как правило, их предварительная обработка. Отчёtnые материалы, содержащие результаты аэровизуальных учётов, имеют в большинстве случаев вид обширных таблиц, содержащих не только количественную, но и качественную (описа-



**Рис. 1.** Каталог водотоков бассейнов рек Коль и Кехта (Кунтово): Первый индекс: I – речная система р. Коль, II – речная система р. Кехта, III – речная система р. Кунтово. Второй индекс: 1, 2, 3 – притоки рр. Коль, Кехта, Кунтово (реки 1-го порядка). Третий индекс: 1, 2, 3 – реки, впадающие в притоки 1-го порядка (реки 2-го порядка). Четвёртый индекс: 1, 2, 3 – реки, впадающие в притоки 2-го порядка (реки 3-го порядка)

**Fig. 1.** List of watercourses located within the basins of the rivers Kol and Kekhta (Kuntovo). The first position: I – the Kol river basin, II – the Kekhta river basin, III – the Kuntovo river basin. The second position: 1, 2, 3 are the tributaries of rivers Kol, Kekhta, Kuntovo (1st order tributaries). The third index: 1, 2, 3 – rivers flowing into tributaries of the 1st order (the 2nd order tributaries).

The fourth index: 1, 2, 3 – rivers flowing into tributaries of the 2nd order (the 3rd order tributaries)

**Таблица 1.** Пример оформления результатов количественного учёта нерестилищ тихоокеанских лососей (выборочная информация из архивных материалов)

**Table 1.** Sample quantitative recording of Pacific salmon spawning grounds (selected information from archive materials)

Учётный участок	Протяжённость нерестового участка, км	Площадь нерестилищ, га *				
		чавыча	нерка	горбуша	кета	кижуч
р. Коль/Правая Коль (длина 122 км, впадает в Охотское море)						
Участок русла р. Коль длиной 34 км, между устьями рек Киумшичек и Левая Коль	63-69	4,23	1,566	469,89	66,51	13,95
р. Кехта (длина 73 км, впадает в Охотское море)						
Участок русла р. Кехта от точки, отстоящей на 6 км от устья, и далее вверх по течению 64 км	91-93	0	0,351	102,06	16,15	7,29
р. Кунтово (длина 53 км, левый приток р. Кехта, впадает в 1 км от устья)						
р. Кунтово, основное русло с протоками	59,3-62,2	0	0,198	32,274	5,688	3,678
Участок р. Кунтово, вверх от устья 6-8 км по руслу с протоками	41-42	0	0,135	28,53	5,04	2,817
руч. Привольный (длина 20 км, левый приток р. Кунтово, впадает в 23 км от устья)						
руч. Привольный, от устья вверх по руслу 15 км	2,6-2,9	0	0,063	1,350	0,234	0,297
руч. Моховой (длина 16 км, левый приток р. Кехта, впадает в 27 км от устья)						
Участок руч. Моховой, вверх от устья 12 км	2,6-2,9	0	0	0,990	0,216	0,220
Три ключа без названия (правые притоки р. Кехта)						
Три ключа без названия, 6,1-6,4 км по руслу	3,6-3,8	0	0	0,815	0,350	0,163

Примечания: \* – Исходные данные по площади нерестилищ, изначально представленные как диапазон значений, для удобства графического отображения приведены к средней величине, суммарно, без разделения на производителей ранних и поздних сроков нерестового хода.

тельную) оценку численности, но всегда с привязкой к конкретному водному объекту или его участку.

В целях картографирования количественные характеристики оформляются в виде таблиц с включением следующих данных: наименование водного объекта; индекс по каталогу; границы учётного участка и его общая протяжённость (км); суммарная длина нерестовой части учётного участка (км); площадь нерестилищ (га) и численность производителей (тыс. экз.) на учётном участке для каждого вида лососей. За элементарную учётную единицу в речном бассейне принимается участок водотока, границы которого отсчитываются в километрах вверх или вниз по течению от приметных природных реперов (от устья притока, выхода скалистых пород, порога и т. д.). Выбор наименьших пространственных единиц определяется однородностью водной среды обитания и возможностью использования данного участка для нереста. В наиболее полном виде – это деление картографируемой площади на сходные по своим условиям минимально возможные участки и оценка абсолютной или относительной численности вида на каждом из них.

На основе имеющихся материалов формируется база данных нерестового фонда промысловых видов тихоокеанских лососей, организованная по определённым правилам и пригодная для ГИС-картирования (см. табл. 1).

При отсутствии необходимости (или трудности) количественного учёта рыб нерестовое значение водотоков оценивается по качественным оценкам.

В отличие от количественных учётов, представленных в относительно стандартизированном виде, качественные данные учётов численности, как правило, плохо структурированы, часто дополняются словесными описаниями, для них отсутствуют единицы измерения, что, в целом, затрудняет картографическую визуализацию. Этот пробел восполняется преобразованием качественных характеристик в количественные посредством построения шкалы балльных оценок, что позволяет систематизировать исходную информацию. На Камчатке традиционно используется 8-балльная шкала [Остроумов, 1999], в которой к каждому баллу применяется словесная форма, сопровождаемая качественными пояснениями для выделенных градаций и иногда соответствующими числовыми значениями (см. табл. 2).

Карты, отображающие пространственную локализацию нерестилищ в речных системах, не дают представления о нерестовой значимости конкретного участка в общем воспроизводстве лососей. С этой целью в данной статье вводится специальный показатель – индекс плотности распределения нерестилищ. Для его оценки исходные данные по площадям нерестилищ на учётном участке, выраженные в гектарах, пересчитываются в относительные единицы измерения – гектар на погонный километр участка русла (га/пог. км). Выполненные расчёты показали, что средняя плотность нерестилищ в бассейнах рек Коль и Кехта/Кунтово изменяется в пределах от 0,001 до более 1,0 га/пог. км. Для картографического представления весь диапазон

**Таблица 2.** Пример оформления результатов качественной (8-балльной) оценки нерестового значения водных объектов (в скобках – значения в баллах)

**Table 2.** Sample qualitative assessment of the spawning value (8-score scale) of water bodies (values are shown in parentheses)

Водоток, его участок	Длина, км	Вид (баллы) *		
		нижнее течение	среднее течение	верхнее течение
Без названия	12	нерка (I-II) горбуша (III-IV) кета (I-II)	Нерка (I-II) Горбуша (II-III) Кета (I-II)	0
Без названия	16	Горбуша (I-III)	?	x
Безымянный, от устья вверх по течению 19 км	49	нерка (I-II) горбуша (IV-V) кета (II-III)	Нерка (I-II) Горбуша (III-IV) Кета (I-III) Кижуч (I-II)	Нерка (I) Горбуша (I-III) Кета (I) Кижуч (I-II)
Без названия	10	0	0	0

Примечания: \* – I – редкие нерестовые площадки с 2-10 особями нерестующих лососей; II – нерестовые площади встречаются значительно чаще; III – через небольшие промежутки нерестовые площадки размещаются по всей длине участка русла при средней плотности заполнения нерестилищ; IV – большая часть русла занята нерестилищами при высокой плотности их заполнения производителями; V – нерестилища занимают почти всю площадь дна при очень высокой плотности заполнения производителями; ? – могут располагаться небольшие нерестилища; 0 – нерестилища отсутствуют; x – сведения о заходе и нересте лососей отсутствуют.

значений данного индекса разбивается на несколько градаций. Как правило, достаточно трёх-четырёх градаций, чтобы наглядно отобразить распределение нерестилищ на карте: – более 1,0, от 0,1 до 1,0, от 0,01 до 0,1 и от 0,001 до 0,01 га/пог. км. Ширина шага между градациями подбирается таким образом, чтобы создаваемая карта была наглядной и информативной. На картах речной сети эти градации обозначаются в виде цветных линий разной толщины, называемой в зависимости от плотности расположения нерестилищ.

Задача по совмещению на карте результатов количественных и качественных оценок численности решается с использованием определённых соотношений между ними путём перевода первичных баллов в интервальную шкалу, имеющую единицу измерения. В данной работе принято, что каждый балл соответствует определённому интервалу значений индекса плотности распределения нерестилищ: балл V – более 1 га/пог. км, балл IV – 0,1-1,0 га/пог. км, баллы III и II – 0,01-0,1 га/пог. км, а балл I – 0,001-0,01 га/пог. км. Выбор шкалы и численных значений, соответствующих балльным оценкам, полностью назначается экспертом.

Нерестовое значение отдельных водотоков дополнительно оценивается как доля площади нерестилищ, расположенных в них, выраженное в процентах от общего нерестового фонда. Данный тип карт показывает вклад конкретного участка реки в общее воспроизводство вида. Для удобства графического отображения проводится ранжирование этого показателя на несколько диапазонов, например, 50-30, 30-25, 25-10, 10-5 и менее 5 %. Для каждого вида границы

диапазонов подбираются с учётом сохранения картографической наглядности.

Аналогично картам распределения нерестилищ составляются карты видового разнообразия тихоокеанских лососей. Методика картографирования сводится к подсчёту числа видов, размножающихся на конкретном участке реки, с отображением этих данных на картах линиями разного цвета.

Итоговая картографическая база данных представляет собой набор электронных вспомогательных, базовых и итоговых карт, имеющих векторный формат, многослойную структуру и сопроводительную атрибутивную информацию. Все карты увязываются с единой цифровой основой масштаба 1:200000 с нанесёнными координатами. Ввод, поиск и использование картографической информации осуществляются по общепринятой процедуре, предусмотренной ГИС-технологиями. Все карты имеют идентичную структуру базы данных и сгруппированы в 4 тематических раздела:

- каталог водотоков бассейнов рек Коль и Кехта (Кунтово) (см. рис. 1);
- пространственное расположение нерестилищ в речной системе – отдельно для каждого вида (горбуша, кета, чавыча, нерка, кижуч) и сводная карта по всем видам (см. рис. 2-7);
- видовое разнообразие тихоокеанских лососей (см. рис. 8), в том числе карта распространения проходной микихи (см. рис. 9);
- нерестовое значение водотоков в воспроизводстве отдельных видов тихоокеанских лососей (см. рис. 10-14).

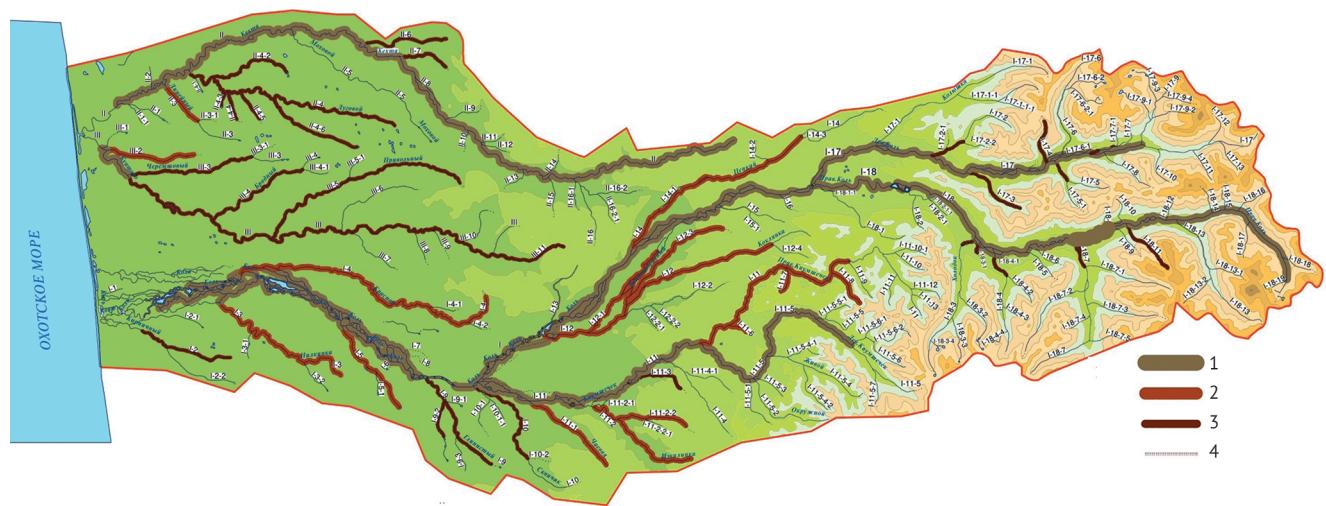
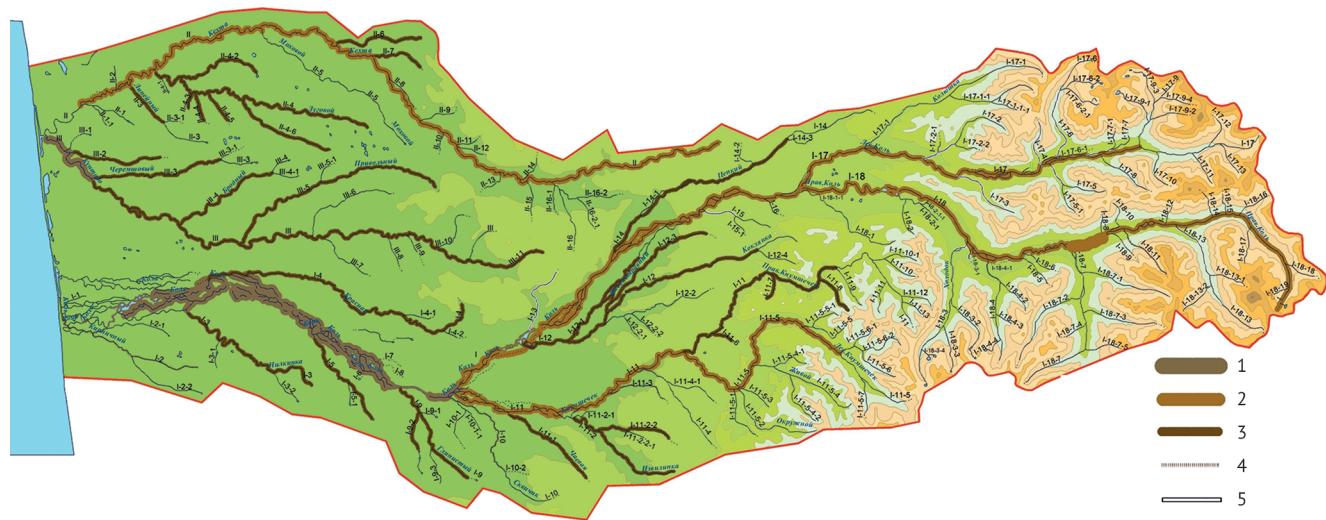


Рис. 2. Расположение нерестилищ горбушки в бассейнах рек Коль и Кехта (Кунтово).

Условные обозначения. Плотность расположения нерестилищ горбушки в водных объектах (га/погонный км): 1 – > 1; 2 – от 0,1 до 1; 3 – от 0,01 до 0,1; 4 – от 0,001 до 0,01

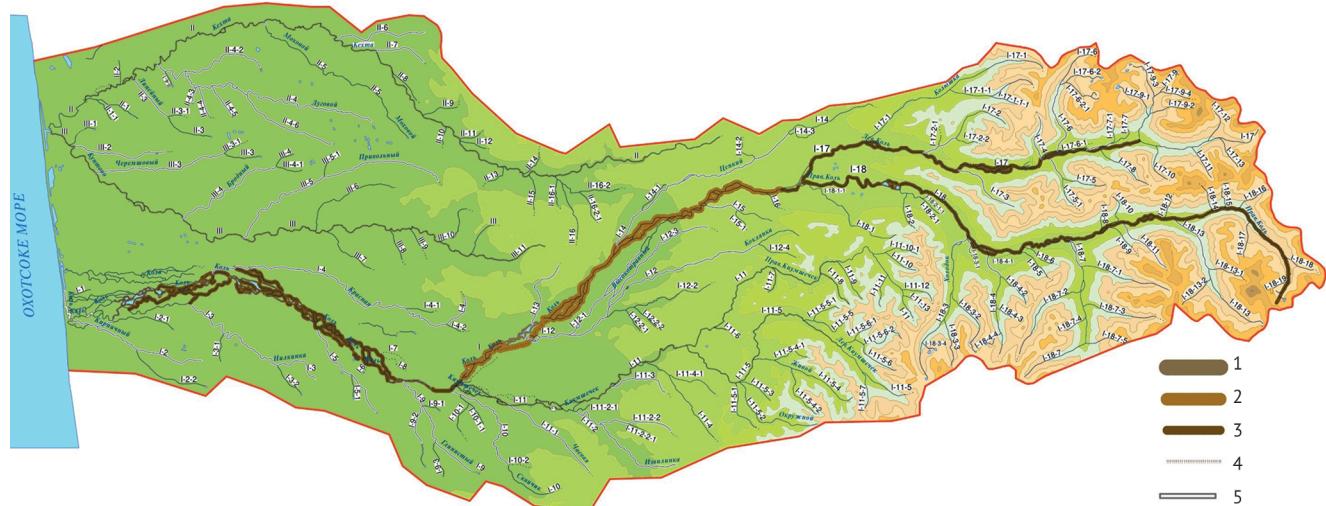
Fig. 2. The location of pink salmon spawning grounds within the basins of the Kol and Kekhta (Kuntovo) rivers.

Symbols: the density of pink salmon spawning grounds in water bodies (ha/km): 1 – >1; 2 – 0.1-1; 3 – 0.01-0.1; 4 – 0.001-0.01



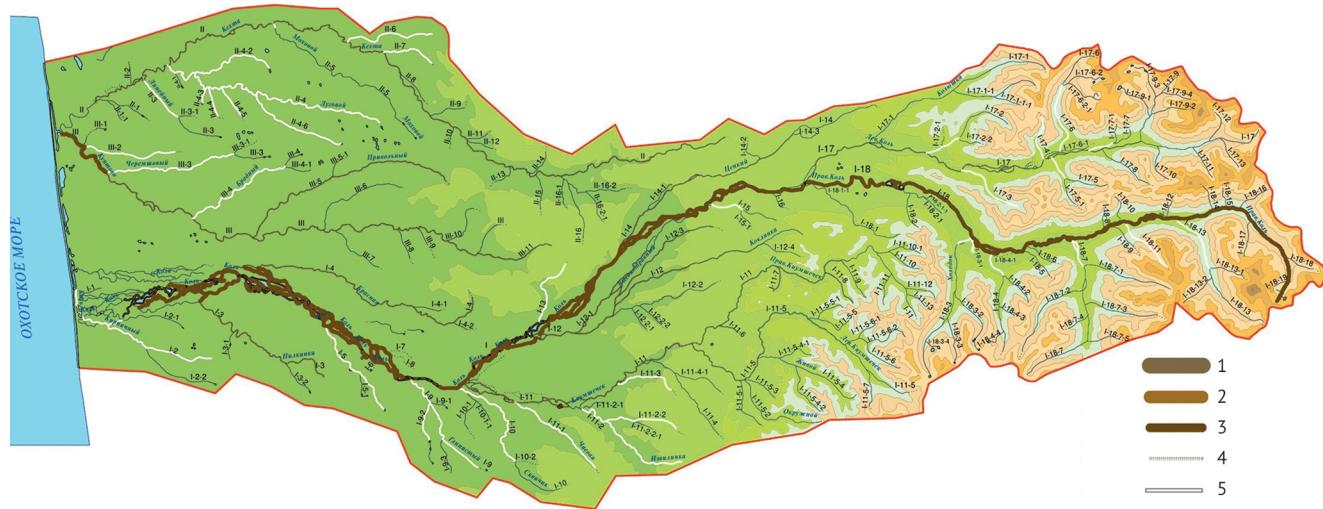
**Рис. 3.** Расположение нерестилищ кеты в бассейнах рек Коль и Кехта (Кунтово). Условные обозначения. Плотность расположения нерестилищ кеты в водных объектах (га/погонный км): 1 – > 1; 2 – от 0,1 до 1; 3 – от 0,01 до 0,1; 4 – от 0,001 до 0,01

**Fig. 3.** The location of keta salmon spawning grounds within the basins of the Kol and Kekhta (Kuntovo) rivers. Symbols: the density of keta salmon spawning grounds in water bodies (ha/km): 1 – > 1; 2-0.1-1; 3-0.01-0.1; 4-0.001-0.01



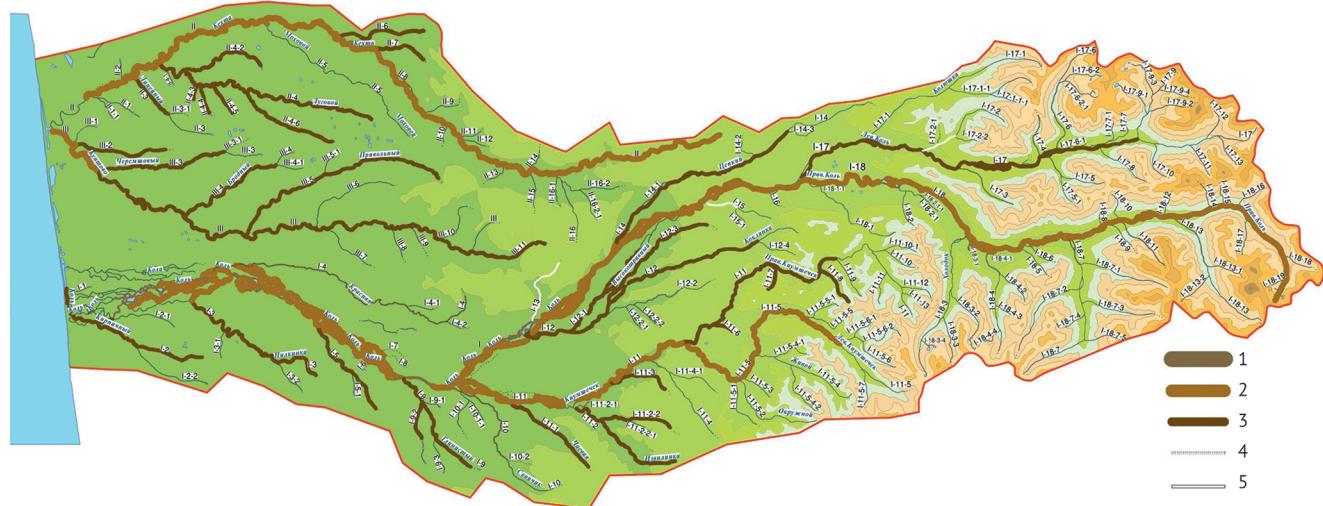
**Рис. 4.** Расположение нерестилищ чавычи в бассейнах рек Коль и Кехта (Кунтово). Условные обозначения. Плотность расположения нерестилищ чавычи в водных объектах (га/погонный км): 1 – > 1; 2 – от 0,1 до 1; 3 – от 0,01 до 0,1; 4 – от 0,001 до 0,01

**Fig. 4.** The location of chinook salmon spawning grounds within the basins of the Kol and Kekhta (Kuntovo) rivers. Symbols: the density of chinook salmon spawning grounds in water bodies (ha/km): 1 – > 1; 2-0.1-1; 3-0.01-0.1; 4-0.001-0.01



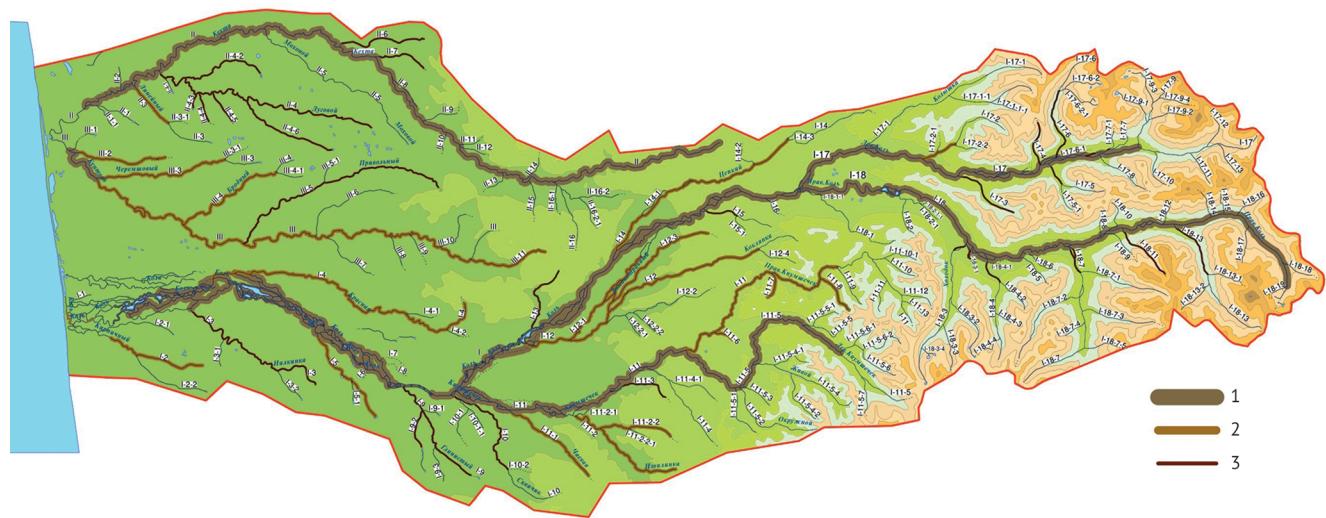
**Рис. 5.** Расположение нерестилищ нерки в бассейнах рек Коль и Кехта (Кунтово). Условные обозначения. Плотность расположения нерестилищ нерки в водных объектах (га/погонный км): 1 – > 1; 2 – от 0,1 до 1; 3 – от 0,01 до 0,1; 4 – от 0,001 до 0,01

**Fig. 5.** The location of sockeye salmon spawning grounds within the basins of the Kol and Kekhta (Kuntovo) rivers. Symbols: the density of sockeye salmon spawning grounds in water bodies (ha/km): 1 – > 1; 2-0.1-1; 3-0.01-0.1; 4-0.001-0.01



**Рис. 6.** Расположение нерестилищ кижуча в бассейнах рек Коль и Кехта (Кунтово). Условные обозначения. Плотность расположения нерестилищ кижуча в водных объектах (га/погонный км): 1 – > 1; 2 – от 0,1 до 1; 3 – от 0,01 до 0,1; 4 – от 0,001 до 0,01

**Fig. 6.** The location of coho salmon spawning grounds within the basins of the Kol and Kekhta (Kuntovo) rivers. Symbols: the density of coho salmon spawning grounds in water bodies (ha/km): 1 – > 1; 2-0.1-1; 3-0.01-0.1; 4-0.001-0.01



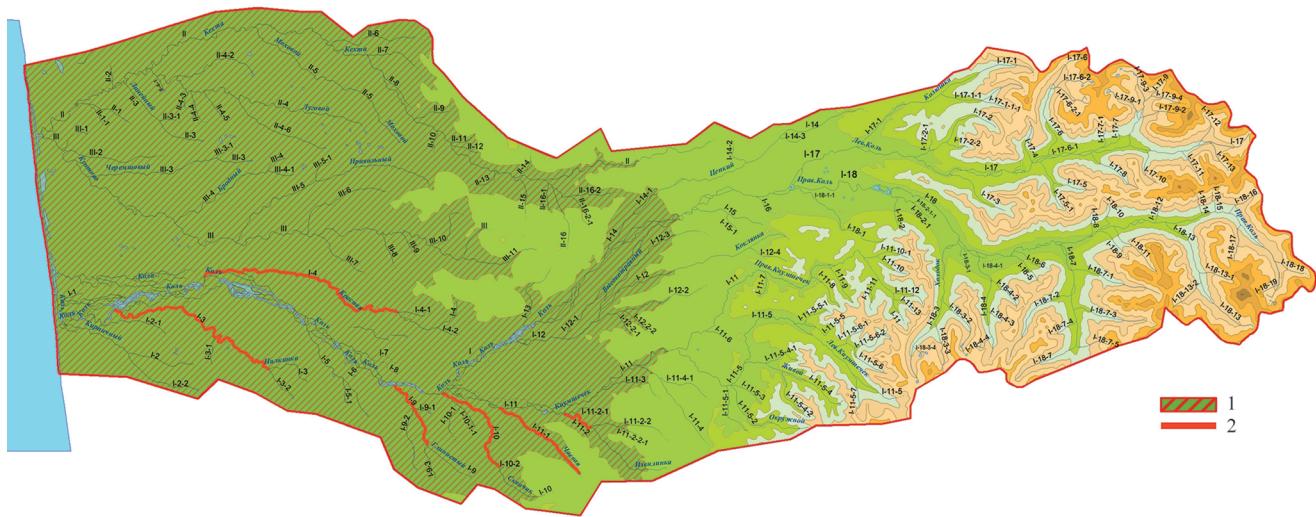
**Рис. 7.** Расположение нерестилищ тихоокеанских лососей в бассейнах рек Коль и Кехта (Кунтово). Условные обозначения. Плотность расположения нерестилищ в водных объектах (га/погонный км): 1 – > 1; 2 – от 0,1 до 1; 3 – от 0,01 до 0,1

**Fig. 7.** The location of Pacific salmon spawning grounds within the basins of the Kol and Kekhta (Kuntovo) rivers. Symbols: the density of spawning grounds in water bodies (ha/km): 1 – > 1; 2-0.1-1; 3-0.01-0.1



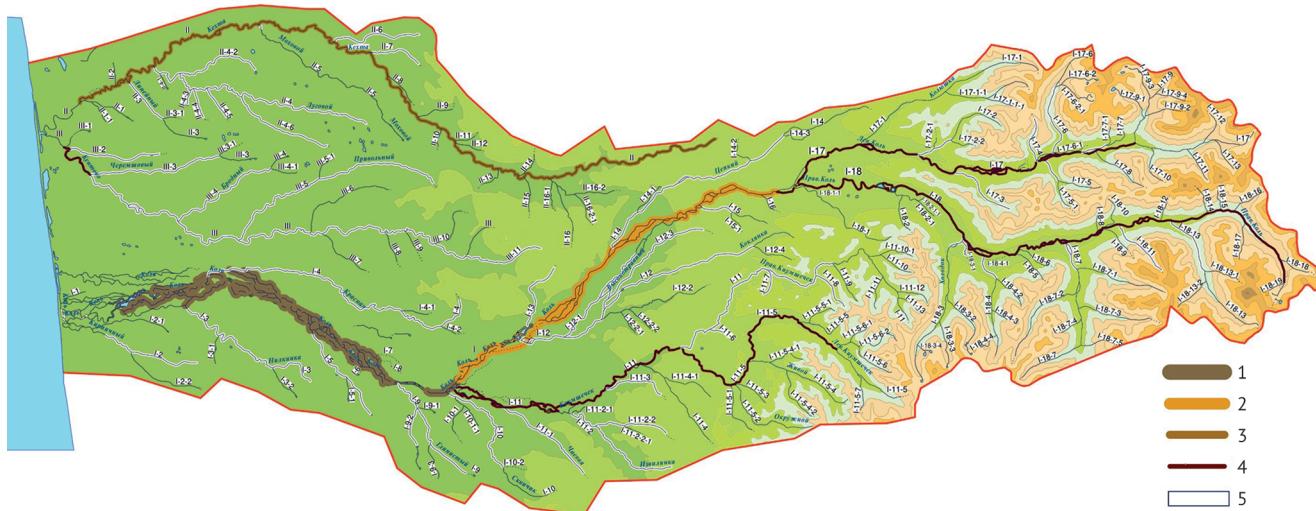
**Рис. 8.** Видовое разнообразие тихоокеанских лососей в бассейнах рек Коль и Кехта (Кунтово). Условные обозначения: 1, 2, 3, 4, 5 – количество видов лососей в водотоках

**Fig. 8.** Species diversity of salmonids in the basins of the Kol and Kekhta (Kuntovo) rivers. Symbols used: 1, 2, 3, 4, 5 – number of salmon species in watercourses



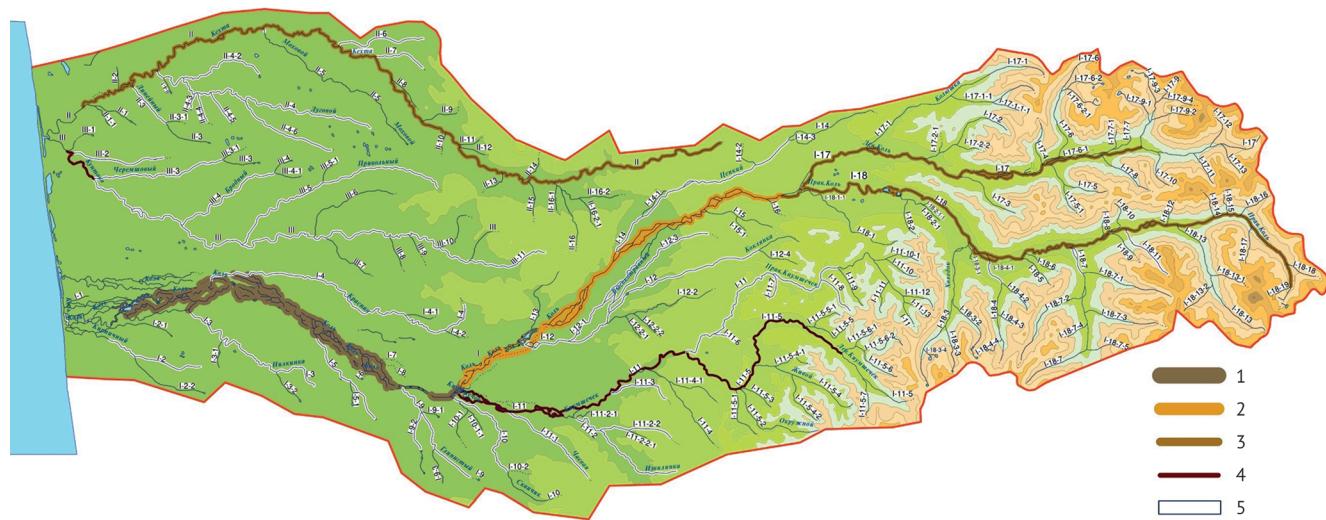
**Рис. 9.** Распространение проходной микижи в бассейнах рек Кол и Кехта (Кунтово). Условные обозначения: 1 – районы обитания проходной микижи, 2 – учтённые нерестилища проходной микижи (по данным кафедры ихтиологии МГУ им. М.В. Ломоносова)

**Fig. 9.** Distribution of the anadrome mikizha within the basins of the Kol and Kekhta (Kuntovo) rivers. Symbols: 1 – potential habitats, 2 – recorded spawning grounds of the mikizha (according to the Ichthyology Department of Lomonosov Moscow State University)



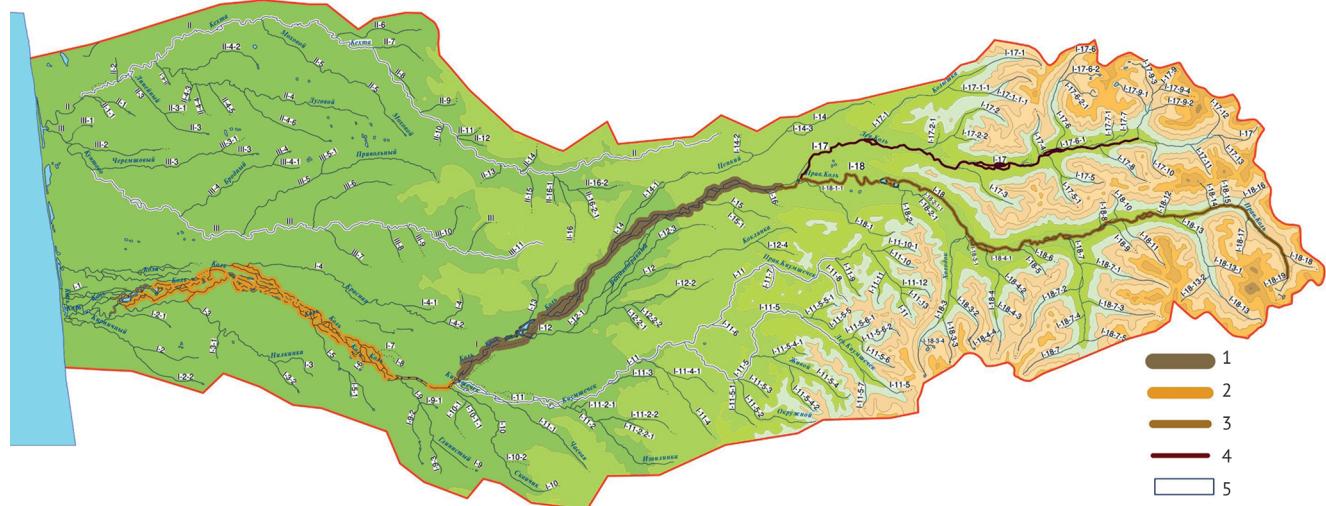
**Рис. 10.** Нерестовое значение водотоков для воспроизводства горбуши в бассейнах рек Кол и Кехта (Кунтово). Условные обозначения. Относительное распределение нерестилищ горбуши в реках и на отдельных участках (в %): 1 – 52,3; 2 – 26,2; 3 – 11,4; 4 – 7,7; 5 – 2,4

**Fig. 10.** The spawning value of watercourses for the reproduction of pink salmon within the basins of the rivers Kol and Kekhta (Kuntovo). Symbol: relative distribution of pink salmon spawning grounds in rivers and certain sites (in %): 1 – 52,3; 2 – 26,2; 3 – 11,4; 4 – 7,7; 5 – 2,4



**Рис. 11.** Нерестовое значение водотоков для воспроизведения кеты в бассейнах рек Коль и Кехта (Кунтово). Условные обозначения. Относительное распределение нерестилищ кеты в реках и на отдельных участках (в %): 1 – 50,6; 2 – 27,3; 3 – 13,3; 4 – 6,0; 5 – 2,8

**Fig. 11.** The spawning value of watercourses for the reproduction of keta salmon within the basins of the rivers Kol and Kekhta (Kuntovo). Symbol: relative distribution of keta salmon spawning grounds in rivers and certain sites (in %): 1 – 50.6; 2 – 27.3; 3 – 13.3; 4 – 6.0; 5 – 2.8



**Рис. 12.** Нерестовое значение водотоков для воспроизведения чавычи в бассейнах рек Коль и Кехта (Кунтово). Условные обозначения. Относительное распределение нерестилищ горбуши в реках и на отдельных участках (в %): 1 – 38,9; 2 – 25,0; 3 – 20,2; 4 – 13,8; 5 – 2,0

**Fig. 12.** The spawning value of watercourses for the reproduction of chinook salmon within the basins of the rivers Kol and Kekhta (Kuntovo). Symbol: relative distribution of chinook salmon spawning grounds in rivers and certain sites (in %): 1 – 38.9; 2 – 25.0; 3 – 20.2; 4 – 13.8; 5 – 2.0



**Рис. 13.** Нерестовое значение водотоков для воспроизведения нерки в бассейнах рек Кол и Кехта (Кунтово). Условные обозначения. Относительное распределение нерестилищ нерки в реках и на отдельных участках (в %): 1 – 31,6; 2 – 24,1; 3 – 21,6; 4 – 20,4; 5 – 2,3

**Fig. 13.** The spawning value of watercourses for the reproduction of sockeye salmon within the basins of the rivers Kol and Kekhta (Kuntovo). Symbol: relative distribution of sockeye salmon spawning grounds in rivers and certain sites (in %): 1 – 31.6; 2 – 24.1; 3 – 21.6; 4 – 20.4; 5 – 2.3



**Рис. 14.** Нерестовое значение водотоков для воспроизведения кижуча в бассейнах рек Кол и Кехта (Кунтово). Условные обозначения. Относительное распределение нерестилищ горбуши в реках и на отдельных участках (в %): 1 – 45,1; 2 – 30,0; 3 – 21,1; 4 – 3,8

**Fig. 14.** The spawning value of watercourses for the reproduction of coho salmon within the basins of the rivers Kol and Kekhta (Kuntovo). Symbol: relative distribution of coho salmon spawning grounds in rivers and certain sites (in %): 1 – 45.1; 2 – 30.0; 3 – 21.1; 4 – 3.8

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Большая протяжённость нерестового ареала тихоокеанских лососей, обилие речных бассейнов, куда на нерест заходят лососи, традиционная табличная форма представления результатов учётов численности значительно затрудняют перевод архивных ма-

териалов в визуализированную форму в виде набора тематических электронных карт. Нередко учётная информация существует в форме, мало пригодной или совершенно не пригодной для пространственной привязки к речному бассейну. Поэтому для оптимизации создания электронных карт с экологической компонентой в настоящей статье были разработаны

и опробованы алгоритмы, подходы и методики подготовки, обработки данных и выполнения отдельных этапов картографических работ.

Комплекты карт, объединённые в тематические разделы и подразделы, дают пространственное представление о количественных характеристиках и распределении нерестилищ тихоокеанских лососей в речных бассейнах и могут стать дополнительным удобным компонентом информационного обеспечения регулирования лососевого промысла.

Анализ архивного материала показал, что в бассейнах рек Коль и Кехта (Кунтово) примерно 80% общей нерестовой площади тихоокеанских лососей занимает горбуша, 14% приходится на кету, 5% – на кижуча и по 1% – на чавычу и нерку. В настоящее время нерестовый фонд лососей в бассейнах рек Коль и Кехта (Кунтово) сохраняется в хорошем состоянии, риски его деградации по техногенным причинам отсутствуют. Общая рыбопромысловая продуктивность обеспечивается наиболее массовым видом – горбушей. Большая часть нерестилищ (до 99% общего нерестового фонда) располагается в руслах и протоках, 1% приходится на ключевые нерестилища (реокрены и лимнокрены) [Остроумов, 1989]. Рыбохозяйственное значение небольших мелководных горных и тундрowych ручьёв определяется обитанием в них некоторых из представителей лососевых рыб – мальмы, симы, микижи и кунджи.

Имеющиеся архивные данные, использованные для картографирования, получены за много лет и дают представление о потенциальной нерестовой площади лососей разных видов, никогда в один сезон ими не занимаемой. Общая нерестовая площадь оконтуривается по годам, соответствующим периодам максимальной и устойчивой в многолетнем отношении численности лососей. В отдельные периоды в зависимости от изменения численности рыб, водности рек и дружности нерестового хода распределение нерестилищ в речных системах и их общие площади могут существенно различаться. В частности, в годы высокой численности нерестовый фонд такого вида, как горбуша, используется почти полностью, а при низкой численности – лишь на доли процента. Следует учитывать также, что площади нерестилищ отдельных видов лососей могут накладываться друг на друга, их расположение внутри бассейна по годам может существенно меняться, а часть нерестовых площадей использоваться разными видами совместно [Гриценко, 1973; Леман, 2003]. Поэтому реальная величина нерестового фонда, используемого в отдельные годы, может меняться, а по мере накопления данных по-

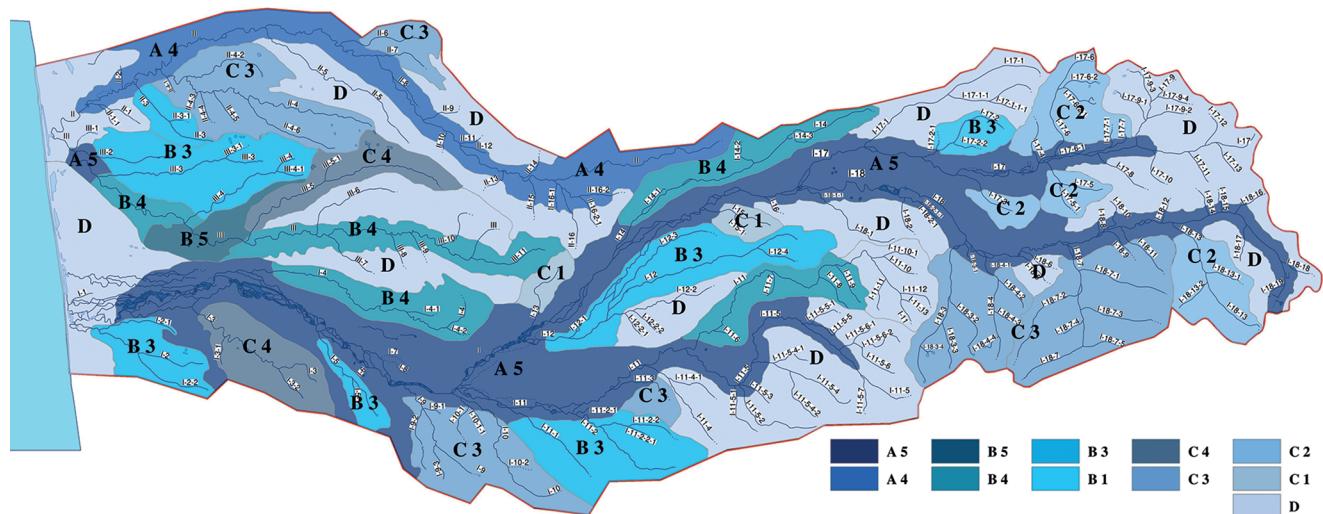
степенно увеличиваться, особенно в периоды максимальных подходов.

Введённый в статье новый показатель – плотность распределения нерестилищ тихоокеанских лососей на практике в лососевых исследованиях не применяется. Тем не менее, его аналоги широко используются в наземных учётных работах – при проведении зимних учётов охотничьих млекопитающих в виде подсчёта следов на единицу учётного маршрута, при геоботанических исследованиях на линейных трансектах, особенно при сильной мозаичности распределения растительного покрова и др. [Методические ..., 2009<sup>5</sup>].

На завершающем этапе геоинформационного картирования предложена схема пространственного дифференцирования (районирования) бассейнов рек Коль и Кехта (Кунтово), основанная на разделении речной сети по двум показателям – плотности распределения нерестилищ и числу размножающихся на данном участке видов лососей (см. табл. 3, рис. 15). В результате в легенде карты, составленной в масштабе 1:200 000, выделяются десять типов нерестово-нагульных угодий лососей, различающихся по комбинациям признаков и объединенных на карте в 4 группы (A, B, C и D) по степени значимости в общем воспроизводстве лососей. При этом каждая группа описывается четырьмя характеристиками: количество водотоков и их участков, входящих в одну группу; общая площадь нерестилищ; число видов лососей, заходящих на нерест, и относительная численность рыб (в % от общих подходов), размножающихся на данном участке. Границы между группами районами, хотя и определены с большей или меньшей условностью, но, однако, достаточно наглядно отображают существующие различия между ними по рыбохозяйственной ценности. Наибольшей рыбохозяйственной продуктивностью обладают водотоки и их участки из группы А, несколько уступают им водотоки из группы В, наиболее низкая продуктивность отмечена для группы С. При этом, общая биологическая продуктивность обеспечивается наиболее массовым видом – горбушей.

Разработанный и апробированный на практике алгоритм адаптации исходных данных для их включения в геоинформационную систему даёт возможность использовать значительные объёмы ведомственных данных для картографирования распределения

<sup>5</sup> Методические рекомендации по организации, проведению и обработке данных зимнего маршрутного учёта охотничьих животных в России (с алгоритмами расчёта численности). 2009. Сост. В.С. Мирутенко, Н.В. Ломанова, А.Е. Берсенев, Н.А. Моргунов, О.А. Володина, В.А. Кузякин, Н.Г. Челинцев. 43 с. <https://docs.cntd.ru/document/902217266?ysclid=m6uodnergd856646164-07.02.2025>.



**Рис. 15.** Рыбохозяйственное районирование бассейнов рек Коль и Кехта (Кунтово) по значению в воспроизведстве тихоокеанских лососей. Условные обозначения. Плотность распределения нерестилищ (га/погонный км): А – > 1,0; В – от 0,1 до 1,0; С – от 0,001 до 0,1; D – значение водотоков определяется вырастными угодьями, сведения о наличии нерестилищ отсутствуют; 1, 2, 3, 4, 5 – количество видов тихоокеанских лососей, воспроизводящихся в данном районе

**Fig. 15.** Fisheries zoning of the basins of the Kol and Kekhta (Kuntovo) rivers based on the value in the reproduction of Pacific salmon. Symbols: the density of spawning grounds distribution (ha/km): A - > 1.0; B - 0.1-1.0; C - 0.001-0.1; D - the value of watercourses is determined by feeding areas, no data on the presence of spawning grounds; 1, 2, 3, 4, 5 - the number of species spawning in the area

**Таблица 3.** Районирование бассейнов рек Коль и Кехта (Кунтово) по значению в общем воспроизводстве тихоокеанских лососей

**Table 3.** Zoning of the Kol and Kekhta (Kuntovo) river basins by value in the total reproduction of Pacific salmon

Индекс участка	Количество водотоков и их участков	Площадь нерестилищ, га/пог. км	Число видов, экз.	Относительная численность рыб в разные годы, %
Группа А: плотность распределения нерестилищ (> 1 га/пог. км)				
A 5	6	1,5007-8,4555	5	горбуша – 71,7-87,1 кета – 11,2-18,9 кижуч – 0,008-8,4 чавыча – 0,006-3,3 нерка – 0,1-2,0
A 4	1	1,695-1,819	4	горбуша – 87,6 кета – 13,9 чавыча – 9,2 кижуч – 6,3
Группа В: плотность нерестилищ 0,1-1 (га/пог. км)				
B 5	1	0,115-0,1379	5	горбуша – 67,6 кижуч – 15,3 кета – 11,7 чавыча – 4,3 нерка – 1,1
B 4	13	0,1342-0,2162	4	горбуша – 66,0-81,2 кета – 6,9-20,4 кижуч – 9,4-13,8 нерка – 1,2-2,4
B 3	21	0,1176-0,3345	3	горбуша – 67,0-77,5 кета – 10,0-18,4 кижуч – 9,3-17,0
B 1	3	0,7701-0,8731	1	горбуша – 100

Индекс участка	Количество водотоков и их участков	Площадь нерестилищ, га/пог. км	Число видов, экз.	Относительная численность рыб в разные годы, %
Группа С: плотность нерестилищ (0,001-0,01 и 0,01-0,1 га/пог. км)				
C 4	5	0,0885-0,0915	4	горбуша – 69,5-74,0 кета – 12,0-29,2 кижуч – 5,5-15,2 нерка – 3,21-4,79
C 3	33	0,0229-0,0877	3	горбуша – 65,84-85,34 кета – 2,83-18,16 кижуч – 8,43-15,98
C 2	13	0,0035-0,0329	2	горбуша – 74,28-93,32 кижуч – 6,68-25,71
C 1	3	0,0061-0,0067	1	горбуша – 100

ления нерестилищ тихоокеанских лососей и степени их заполнения. Представленные в данной статье подходы к цифровизации архивных данных и созданию карт могут служить методической основой для визуального анализа результатов текущих учётных работ и проведения межгодовых сравнений заполнения нерестилищ и пространственного распределения производителей в речных бассейнах. Определённые по картам типичные нерестовые участки можно использовать в качестве природного эталона для организации мониторинга и экстраполировать выявленные на них закономерности на остальной нерестовый фонд, что позволит оценивать эффективность естественного воспроизводства тихоокеанских лососей.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках настоящей работы разработаны методические подходы к ГИС-картированию нерестового фонда и распределения производителей тихоокеанских лососей на основе архивных материалов, сформированных по результатам многолетних аэровизуальных учётов их численности в речных системах. Описаны алгоритмы стандартизации учётных материалов, представленных в рыбохозяйственных архивах, преобразование их в единую электронную форму с пространственной привязкой к конкретным участкам водных объектов с целью последующей картографической визуализации.

На примере двух модельных рек (Коль и Кехта/Кунтово), расположенных на Западной Камчатке, проведено показательное геоинформационное картирование пространственного распределения нерестилищ для пяти видов тихоокеанских лососей. Картографическая база данных состоит из набора электронных карт на единой цифровой основе масштаба 1:200 000, сгруппированных в 4 тематических раздела: каталог

водотоков, пространственное распределение нерестилищ, видовое разнообразие тихоокеанских лососей, нерестовое значение водотоков в воспроизводстве отдельных видов тихоокеанских лососей. Предложен индекс плотности распределения нерестилищ в реках, рассчитываемый как отношение площади нерестилищ к протяжённости водотока или его участка. Проведено рыбохозяйственное районирование района работ по значению отдельных частей бассейна в воспроизводстве лососей.

Разработанный и апробированный на практике алгоритм адаптации исходных данных для их интеграции в среде ГИС даёт возможность использовать значительные объёмы ведомственных данных для геоинформационного картографирования нерестового фонда, численности и распределения тихоокеанских лососей на российском Дальнем Востоке.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

## Финансирование

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

## ЛИТЕРАТУРА

- Глубоковский М.К., Марченко С.Л., Темных О.С., Шевляков Е.А. 2017. Методические рекомендации по исследованиям тихоокеанских лососей. М.: Изд-во ВНИРО. 80 с.
- Гриценко О.Ф. 1973. Биология симы и кижуча Северного Сахалина. М.: ВНИРО. 40 с.
- Евзеров А.В. 1979. К методике аэровизуального учёта лососей // Известия ТИНРО. Т. 71. С. 199-204.

- Евзеров А.В. 1983. Нерестовый фонд охотоморской и анадырской кеты // Биологические основы развития лососевого хозяйства в водоёмах СССР. М.: Наука. С. 103-113.
- Запорожец О.М., Запорожец Г.В. 2017. Использование фото- и видеофиксации для учёта численности производителей тихоокеанских лососей на нерестилищах и путях их миграции: некоторые методические подходы // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Т. 47. С. 77-90. DOI: 10.15853/2072-8212.2017.4.7.77-90/
- Запорожец О.М., Запорожец Г.В., Фельдман М.Г. 2020. Оценка численности производителей нерки и их распределение по нерестовым стациям в бассейне Начикинского озера (Камчатка) в 2019 г. // Известия ТИНРО. Т. 200. Вып. 3. С. 618-634. DOI: 10.26428/1606-9919-2020-200-618-634.
- Красная книга Российской Федерации. Т. «Животные» (2-е издание). 2021. М.: ФГБУ «ВНИИ Экология». 1128 с.
- Крогиус Ф.В. 1955. Опыт применения самолёта для обследования состояния и оценки заполнения нерестилищ камчатских лососей // Рыбное хозяйство. № 11. С. 32-34.
- Кузицбин К.В. 2010. Формирование и адаптивное значение внутривидового экологического разнообразия лососевых рыб семейства Salmonidae. Автореф. дис. ... док. биол. наук. М.: МГУ. 49 с.
- Леман В.Н. 2003. Экологическая и видовая специфика нерестилищ тихоокеанских лососей р. *Oncorhynchus* на Камчатке // Чтения пам. В.Я. Леванидова. Владивосток: Дальнаука. Вып. 2. С. 12-34.
- Леман В.Н., Лошкарева А.А. 2005. Рыболовное районирование и зонирование территории биологического (лососевого) заказника «Река Коль» // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей. Мат. VI науч. конф. (Петропавловск-Камчатский, 29-30 дек. 2005 г.). Камчатпресс. С. 117-120.
- Лошкарева А.А. 2008. Геоинформационная система: теория, общая информация, руководство пользователя электронным атласом и базой данных «Сохранение биоразнообразия лососевых рыб Камчатки и их устойчивое использование». М.: ВНИРО. 100 с.
- Никифоров А.И., Гордеев И.И., Ридигер А.В. 2023. Мониторинговые исследования подходов производителей горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* с помощью БПЛА в нерестовых реках острова Сахалин в 2022 году // Бюл. № 17 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. Владивосток: ТИНРО. С. 115-121. DOI: 10.26428/losos\_bull17-2023-115-121.
- Остроумов А.Г. 1962. Опыт применения аэрометодов учёта тихоокеанских лососей в реках Камчатки. Петропавловск-Камчатский: Книжн. редакция «Камчатской правды». 42 с.
- Остроумов А.Г. 1964. Опыт применения аэрометодов для оценки заполнения нерестилищ лососями // Лососевое хозяйство Дальнего Востока. М.: Наука. С. 90-99.
- Остроумов А.Г. 1975. Нерестовый фонд и состояние запасов дальневосточных лососей в водоёмах п-ова Камчатка и Корякского нагорья в 1957-1971 гг. (по материалам авиаучётов и аэрофотосъёмок) // Труды ВНИРО. Т. 106. С. 21-33.
- Павлов Д.С., Савваитова К.А., Кузицбин К.В., Груздева М.А., Стенфорд Д.А. 2009. Состояние и мониторинг биоразнообразия лососевых рыб и среды их обитания на Камчатке (на примере территории заказника «Река Коль»). МГУ им. М.В. Ломоносова, ИПЭЭ РАН им. А.Н. Северцова. М.: Товарищество науч. изд. КМК. 156 с.
- Пастырев В.А. 2007. Материалы по применению аэровизуальных методов в рыболовственных исследованиях в северо-западной части Охотского моря // Известия ТИНРО. Т. 148. С. 42-56.
- Ресурсы поверхностных вод СССР. 1966. Гидрологическая изученность. Т. 20. Камчатка. Л.: Гидрометеоиздат. 264 с.
- Свиридов В.В., Золотухин С.Ф. 2020. Методы ГИС для инвентаризации нерестилищ тихоокеанских лососей р. Амур // Известия ТИНРО. Т. 200. № 3. 730-746 с.
- Свиридов В.В., Коцюк Д.В., Подорожнюк Е.В. 2022 а. Беспилотный фотограмметрический учёт тихоокеанских лососей посредством БПЛА потребительского класса // Известия ТИНРО. Т. 202. Вып. 2. С. 429-449. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-429-449.
- Свиридов В.В., Подорожнюк Е.В., Никитин В.Д., Скорик А.В. 2022 б. Модификация беспилотного учёта производителей тихоокеанских лососей в реках Сахалинской области и Хабаровского края // Известия ТИНРО. Т. 202. Вып. 4. С. 1015-1031. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-10-15-1031.
- Скорик А.В. 2023. Методы учёта водных биологических ресурсов посредством БПЛА в Сахалинской области // Современные аспекты рыболовства и геномные технологии в аквакультуре и рыболовстве. Мат. IV Науч. школы молодых учёных и специалистов / М.В. Сытова, Н.С. Мюге, И.И. Гордеев ред. М.: Изд-во ВНИРО. с. 72.
- Фадеев Е.С., Шевляков Е.А., Фельдман М.Г. 2019. Комплексный мониторинг пропуска производителей тихоокеанских лососей р. Камчатка в режиме реального времени // Известия ТИНРО. Т. 197. С. 3-20. DOI: 10.26428/1606-9919-2019-197-3-20.
- Шевляков Е.А., Фельдман М.Г., Островский В.И., Волобуев В.В., Каев А.М., Голубь Е.В., Барабанщиков Е.И., Голованов И.С. 2019. Ориентиры и оперативная оценка пропуска производителей на нерестилища как инструменты перспективного и краткосрочного управления запасами тихоокеанских лососей в реках Дальневосточного рыболовства // Известия ТИНРО. Т. 196. С. 23-62. DOI: 10.26428/1606-9919-2019-196-23-62.
- Шевляков Е.А., Шубкин С.В. 2020. Современный опыт обследования нерестилищ тихоокеанских лососей в водоёмах Чукотки // Известия ТИНРО. Т. 200. Вып. 2. С. 270-291. DOI: 10.26428/1606-9919-2020-200-270-291.
- Шевляков Е.А., Шубкин С.В., Дубынин В.А., Малых К.М., Голубь Е.В., Голубь А.П., Каев А.М., Коваль М.В. 2013. Методики учёта производителей тихоокеанских лососей на нерестилищах и путях миграции к ним // Бюл. № 8 изу-

- чения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. Владивосток: ТИИРО-центр. С. 36-57.
- Harrison L.R., Legleiter C.J., Overstreet B.T., Bell T.W., Hannon J. 2020. Assessing the potential for spectrally based remote sensing of salmon spawning locations // River Research and Applications 36(8):1618-1632. DOI 10.1002/rra.3690.
- Whitehead K., Hugenholtz C.H., Myshak S., Brown O., LeClair A., Tamminga A., Barchyn T., Moorman B., Eaton B. 2014. Remote sensing of the environment with small unmanned aircraft systems (UASs), part 2: scientific and commercial applications // Journal of Unmanned Vehicle Systems. V. 02. P. 86-102. DOI: 10.1139/juvs-2014-0007.
- Wirth L., Rosenberger A., Prakash A., Gens R., Margraf F.J., Hamazaki T. 2012. A remote-sensing, GIS-based approach to identify, characterize, and model spawning habitat for fall-run Chum salmon in a sub-arctic, glacially fed river. Transactions of the American Fisheries Society 141 (5): 349-1363. DOI 10.1080/00028487.2012.692348.
- REFERENCES**
- Glubokovsky M.K., Marchenko S.L., Temnykh O.S., Shevlyakov E.A. 2017. Guidelines for the study of Pacific salmon. Moscow: VNIRO Publish. 80 p. (In Russ.).
- Gritsenko O.F. 1973. Biology of the Sima and coho salmon of Northern Sakhalin. Moscow: VNIRO Publish. 40 p. (In Russ.).
- Evzerov A.V. 1979. On the methodology of aerovisual recording of salmon // Izvestiya TINRO. V. 71. P. 199-204. (In Russ.).
- Evzerov A.V. 1983. Spawning fund of the Okhotsk and Anadyr chum salmon // Biological foundations of the development of salmon farming in the reservoirs of the USSR. Moscow: Nauka. P. 103-113. (In Russ.).
- Zaporozhets O.M., Zaporozhets G.V. 2017. Using the photo- and video records for assessment of pacific salmon escapement on migration routes and spawning grounds: some of methodical approaches // Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana, V. 47. P. 77-90. (In Russ.).
- Zaporozhets O.M., Zaporozhets G.V., Feldman M.G. 2020. Estimation of the number of sockeye salmon adults and their distribution by spawning stations in the basin of Lake Nachikinskoye (Kamchatka) in 2019 // Izvestiya TINRO. V. 200. No. 3. P. 618-634. DOI 10.26428/1606-9919-2020-200-618-634. (In Russ.).
- The Red Book of the Russian Federation. V. «Animals» (2nd edition). 2021. Moscow: FSBI «VNII Ekologiya». 1128 p.*
- Krogius F.V. 1955. Application experience for investigating the state and assessing the filling of spawning grounds of Kamchatka salmon // Rybnoe Khozyajstvo. No. 11. P. 32-34. (In Russ.).
- Kuzishchin K.V. 2010. Formation and adaptive significance of intraspecific ecological diversity of Salmonid family Salmonidae. Abstr. diss ...the doct. of science in Biology. Moscow: MSU. 49 p. (In Russ.).
- Leman V.N. 2003. Ecological and species peculiarities of spawning sites of pacific salmons (*Oncorhynchus*) in Kamchatka area // Readings in memory of V.Y. Levanidov. Vladivostok: Dalnauka. V. 2. P. 12-34. (In Russ.).
- Leman V.N., Loshkareva A.A. 2005. Fisheries and functional zonation of the territory of the biological (salmon) reserve «Kol River» // Conservation of the biodiversity of Kamchatka and adjacent seas. Proc. of the VI Scient. Conf. (Petropavlovsk-Kamchatka, 29-30 Dec. 2005). Kamchatpress. P. 117-120. (In Russ.).
- Loshkareva A.A. 2008. Geoinformation system: theory, general information, user's manual to the electronic atlas and database «Conservation of Kamchatka salmon biodiversity and their sustainable use». Moscow: VNIRO Publish. 100 p. (In Russ.).
- Nikiforov A.I., Gordeev I.I., Ridiger A.V. 2023. Monitoring survey on run of spawners of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* by means of UAV in the spawning rivers of Sakhalin Island in 2022 // Bull. N 17 for the Study of Pacific Salmon in the Far East. Vladivostok: TINRO Publish. P. 115-121. DOI: 10.26428/losos\_bullet17-2023-115-121. EDN: TEKRFK. (In Russ.).
- Ostromov A.G. 1962. The case of using aeromethods of Pacific salmon recording in the rivers of Kamchatka), Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatka Pravda. 45 p. (In Russ.).
- Ostromov A.G. 1964. The case of using aerial methods to assess the density of salmon on spawning grounds // Salmon farming in the Far East. Moscow: Nauka. P. 90-99. (In Russ.).
- Ostromov A.G. 1975. Area of spawning grounds and stock status of Far Eastern salmon in water courses of the Kamchatka Peninsula and Koryak Upland in 1957-1971 (based on aerial surveys and aerial photographs) // Trudy VNIRO. V. 106. P. 21-23. (In Russ.).
- Pavlov D.S., Savvaitova K.A., Kuzishchin K.V., Gruzdeva M.A., Stanford D.A. 2009. The state and monitoring of salmonids' biodiversity and habitats in Kamchatka (the case of the territory of the Kol River Reserve). Lomonosov MSU, Severtsov IPEE RAS. Moscow: Association of Scientific Publishers. KMK, 2009. 156 p. (In Russ.).
- Pastyrev V.A. 2007. Data on the application of aerovisual methods in fisheries research in the northwestern part of the Sea of Okhotsk // Izvestiya TINRO. V. 148. P. 42-56. (In Russ.).
- Surface water resources of the USSR. 1966. Hydrological knowledge. V. 20. Kamchatka. Leningrad: Gidrometeoizdat. 264 p. (In Russ.).
- Sviridov V.V., Kotsyuk D.V., Podorozhnyuk E.V. 2022. Photogrammetric counts of pacific salmon by means of unmanned aerial vehicles of consumer grade // Izvestiya TINRO. V. 202. No. 2. P. 429-449. DOI 10.26428/1606-9919-2022-202-429-449. (In Russ.).
- Sviridov V.V., Podorozhnyuk E.V., Nikitin V.D., Skorik A.V. 2022. Modifications of unmanned aerial survey on spawners of pacific salmons in the rivers of Sakhalin and Khabarovsk Regions // Izvestiya TINRO. V. 202. No. 4. P. 1015-1031. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-1015-1031. (In Russ.).

- Sviridov V.V., Zolotukhin S.F. 2020. GIS methods for inventory of pacific salmons spawning grounds in the Amur River // Izvestiya TINRO. V. 200. No. 3., p. 730-746. DOI 10.26428/1606-9919-2020-200-730-746. (In Russ.).*
- Skorik A. V. 2023. Methods of recording of aquatic biological resources using UAVs in the Sakhalin region // Modern aspects of fisheries science and genomic technologies in aquaculture and fisheries. Mat. of the IV Scient. School of Young Scientists and Specialists / M.V. Sitova, N.S. Muge, I.I. Gordeev eds. Moscow: VNIRO Publish. P. 72. (In Russ.).*
- Fadeev E.S., Shevlyakov E.A., Feldman M.G. 2019. Complex monitoring of salmon spawners escapement to the Kamchatka River in real time regime // Izvestiya TINRO. V. 197. No. 2. P. 3-20. DOI 10.26428/1606-9919-2019-197-3-20. (In Russ.).*
- Shevlyakov E.A., Feldman M.G., Ostrovsky V.I., Volobuev V.V., Kaev A.M., Golub E.V., Barabanshchikov E.I., Golovanov I.S. 2019. Limits and operational evaluation of the spawners escapement to the spawning grounds as tools for prospective and short-term management of the pacific salmon stocks in the rivers of the Far-Eastern fisheries Basin // Izvestiya TINRO. V. 196. P. 23-62. DOI 10.26428/1606-9919-2019-196-23-62. (In Russ.).*
- Shevlyakov E.A., Shubkin S.V. 2020. Recent experience of surveying the spawning grounds of pacific salmons in the water bodies of Chukotka // Izvestiya TINRO. V. 200. No. 2. P. 270-291. DOI 10.26428/1606-9919-2020-200-270-291. (In Russ.).*
- Shevlyakov E.A., Shubkin S.V., Dubynin V.A., Malykh K.M., Golub E.V., Golub A.P., Kaev A.M., Koval M.V. 2013. Methods for accounting for spawners of Pacific salmon in spawning grounds and migration routes to them // Bull. No. 8 for the Study of Pacific Salmon in the Far East. Vladivostok: TINRO-Tsentr Publish. P. 36-57. (In Russ.).*
- Harrison L.R., Legleiter C.J., Overstreet B.T., Bell T.W., Hannon J. 2020. Assessing the potential for spectrally based remote sensing of salmon spawning locations // River Research and Applications 36(8):1618-1632. DOI 10.1002/rra.3690.*
- Whitehead K., Hugenholtz C.H., Myshak S., Brown O., LeClair A., Tamminga A., Barchyn T., Moorman B., Eaton B. 2014. Remote sensing of the environment with small unmanned aircraft systems (UASs), part 2: scientific and commercial applications // Journal of Unmanned Vehicle Systems. V. 02. P. 86-102. DOI: 10.1139/juvs-2014-0007.*
- Wirth L., Rosenberger A., Prakash A., Gens R., Margraf F.J., Hamazaki T. 2012. A remote-sensing, GIS-based approach to identify, characterize, and model spawning habitat for fall-run Chum salmon in a sub-arctic, glacially fed river. Transactions of the American Fisheries Society 141 (5): 349-1363. DOI 10.1080/00028487.2012.692348.*

Поступила в редакцию 23.10.2024 г.  
Принята после рецензии 21.02.2025 г.

УДК 597.556.35-146.31:57.086

## Промысловые виды и их биология

# Применение цитометрии для анализа качества спермы рыб на примере черноморского калкана

А.Н. Ханайченко, В.С. Муханов

Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН (ФГБУН «ФИЦ Инбюом»), просп. Нахимова, д.2, Севастополь, 299011

E-mail: a.khanaychenko@gmail.com

SPIN-код: А.Н. Ханайченко – 6042-0080; В.С. Муханов – 3241-9675

**Цель работы:** разработка способа оценки качества спермы рыб по состоянию митохондрий сперматозоидов, которые связаны с их функциональной подвижностью.

**Метод:** для оценки качества спермы половозрелых разновозрастных самцов черноморского калкана из нерестовой популяции впервые был применён цитометрический анализ с предварительной окраской живых образцов спермы флуоресцентным красителем родамином 123, характеризующим мембранный потенциал митохондрий сперматозоидов.

**В результате исследований** определена индивидуальная вариабельность концентрации, размерного состава и флуоресценции окрашенных родамином сперматозоидов в сперме 27 половозрелых разновозрастных самцов калкана из одной нерестовой популяции. Концентрация сперматозоидов (с размером головки 2,2 мкм) в семенной жидкости калкана составляла, в среднем,  $2,8 \pm 1,3 \times 10^9$  кл мл<sup>-1</sup>, и варьировала индивидуально в пределах от 0,56 до  $4,98 \times 10^9$  кл мл<sup>-1</sup>. Доля флуоресцирующих (т. е. с окрашенными родамином 123 функциональными митохондриями) сперматозоидов составляла  $86,3 \pm 13,9\%$  от совокупности всех сперматозоидов в образцах спермы. Внутри большой группы окрашенных родамином 123 сперматозоидов хорошо выделялась субгруппа более крупных (около 2,4 мкм), наиболее ярко флуоресцирующих и, по-видимому, наиболее метаболически активных сперматозоидов, доля которых составляла  $16,2 \pm 3,8\%$ .

**Научная и практическая значимость:** разработанный цитометрический протокол обеспечивает более точную оценку функциональности сперматозоидов в сперме черноморского калкана и других видов рыб, и может быть применён для исследования состояния репродуктивных характеристик рыб из естественных популяций, селекции наилучших производителей при создании маточных стад для аквакультурной промышленности и оценки состояния спермы рыб до и после криоконсервации.

**Ключевые слова:** черноморский калкан *Scophthalmus maeoticus*, сперматозоиды, проточная цитометрия, родамин 123, флуоресценция.

## Flow Cytometric Analysis of Fish Sperm Quality: A Case Study of Black Sea Turbot

Antonina N. Khanaychenko, Vladimir S. Mukhanov

A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS («IBSS RAS»), 2, Nakhimov prospr., Sevastopol, 299011, Russia

**Objective:** the aim of this study was to develop a method for evaluating fish sperm quality based on the mitochondrial status of spermatozoa, which is linked to their functional motility.

**Methods:** to assess sperm quality of sexually mature Black Sea turbot males of different ages from a spawning population, flow cytometric analysis with preliminary staining of live sperm samples using the fluorescent dye rhodamine 123, which characterizes the membrane potential of spermatozoa mitochondria, was applied for the first time.

**Results:** individual variability in concentration, size composition, and fluorescence of rhodamine-stained spermatozoa was determined in the sperm of 27 sexually mature turbot males of different ages from the same spawning population. The concentration of spermatozoa (with a head size of 2.2  $\mu$ m) in turbot seminal fluid averaged  $2.8 \pm 1.3 \times 10^9$  cells ml<sup>-1</sup>, and individually varied from 0.56 to  $4.98 \times 10^9$  cells ml<sup>-1</sup>. The proportion of fluorescent spermatozoa (i. e., with functional mitochondria stained by rhodamine 123) was  $86.3 \pm 13.9\%$  of all spermatozoa in the sperm samples. Within the large group of rhodamine 123-stained spermatozoa, a sub-group of larger cells (approximately 2.4  $\mu$ m) with the most intense fluorescence and, apparently, the highest metabolic activity was clearly distinguished, comprising  $16.2 \pm 3.8\%$ .

**Novelty and Practical significance:** the developed cytometric protocol provides a more accurate assessment of spermatozoa functionality in the sperm of Black Sea turbot and other fish species. It can be applied for investigating reproductive characteristics of fish from natural populations, selecting the best breeders when creating broodstock for aquaculture, and evaluating fish sperm quality before and after cryopreservation.

**Keywords:** Black Sea turbot *Scophthalmus maeoticus*, sperm, spermatozoa, flow cytometry, rhodamin 123, fluorescence.

## ВВЕДЕНИЕ

Черноморский калкан *Scophthalmus maeoticus* (Pallas, 1814) – морской демерсальный вид рыб, один из наиболее ценных для промышленного рыболовства в Чёрном море и, потенциально, перспективный для промышленной аквакультуры. Морфологическая близость калкана к его ближайшему родственнику – атлантическому тюрбо, *S. maximus* (L., 1758) [Chenet, 2003; Voronina, 2010] дополняется конспецифичностью этих видов, которая была подтверждена молекулярно-генетическими исследованиями [Turan et al., 2019]. Популяции калкана распространены неравномерно по континентальному шельфу Чёрного моря (47°N–41°N, 27°E–42°E), преимущественно на илисто-песчаных грунтах до глубин более 100 м. Массовый нерест калкана начинается в весенний период в разное время, в зависимости от региона Чёрного моря, но преимущественно проходит в течение 2-месячного периода с середины апреля до середины июня [Марти, 1939]. Несмотря на то, что репродуктивный потенциал популяции калкана обычно оценивают по характеристикам самок: их возрастному составу и размерам, гонадо-соматическому индексу, плодовитости, качеству икры [Гирагосов, 2020], эффективность нереста рыб в естественных популяциях, также как и их воспроизводство в условиях искусственного выращивания, в значительной степени определяется и репродуктивными характеристиками самцов. Результативность нереста может зависеть от состояния самцов, их способности к спермации и активности спермы. Качество спермы рыб р. *Scophthalmus* зависит от условий среды и питания и влияет на состояние здоровья потомства на ранних стадиях его развития [Liu et al., 2021]. Синергетический эффект влияния плохого качества мужских гамет может приводить и к низкому проценту нормального оплодотворения, и к низкому качеству потомства, что, в свою очередь, может стать причиной значительного снижения уровня воспроизводства популяции. Рыbam р. *Scophthalmus* свойственно исключительно внешнее моноспермное оплодотворение, при котором в яйцеклетку через видоспецифическое микропиле проникает только один сперматозоид [Bian et al., 2010]. При контакте с водой у выметанных ооцитов быстро уплотняется оболочка, через которую спермии уже проникнуть не могут, а период между соприкосновением икры с водной средой и возможным проникновением сперматозоида через микропиле у рыб р. *Scophthalmus* не превышает 20 сек. [Cosson, 2004]. Физиологические характеристики сперматозоидов обычно зависят от

целостности мембраны клетки и активности её митохондрий [Dreanno et al., 1999].

Прогрессивное движение сперматозоидов и их жизнеспособность зависят от состояния мембранного потенциала митохондрий (МПМ) сперматозоида. Известно, что МПМ положительно коррелирует с поглощением и интенсивностью флуоресценции родамина 123 (R123) [Evenson et al., 1982], который накапливается только в функциональных митохондриях живых клеток [Segovia et al., 2000] благодаря негативному потенциалу внутренней мембраны митохондрий [Liu et al., 2007]. Соответственно, интенсивность флуоресценции является индикатором состояния МПМ, которое, в свою очередь, коррелирует с потенциальной способностью спермы к оплодотворению [Paniagua-Chavez et al., 2006]. Интенсивность окраски сперматозоидов зависит как от количества митохондрий, так и от величины МПМ, характеризующих интенсивность метаболических процессов в клетке [Darzynkiewicz et al., 1982]. По интенсивности флуоресценции клеток, окрашенных R123, можно оценивать энергетические показатели сперматозоидов. Цитометрический анализ спермы может дать более точную оценку жизнеспособности сперматозоидов по сравнению с традиционными микроскопическими методами (оценка концентрации в камере Горяева и оценка подвижности сперматозоидов в мазке разбавленной спермы по разным шкалам) как по информативности, так и по скорости анализа.

**Целью работы** было разработать метод оценки состояния спермы рыб методом проточной цитометрии с применением флуоресцентного маркера МПМ родамина 123 (R123); определить размерный состав и концентрацию сперматозоидов в сперме черноморского калкана цитометрическим методом; оценить состояние МПМ сперматозоидов в зависимости от характеристик флуоресценции при окрашивании R123 и оценить возможную связь между МПМ сперматозоидов в образцах спермы и биологическими характеристиками самцов калкана.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Для исследований использовали индивидуальные пробы спермы интактных половозрелых самцов черноморского калкана (27 экз.), отловленных с помощью камбальных жаберных сетей с размером ячей 200 мм на глубинах 50-95 м в акватории юго-западного шельфа Крымского полуострова с координатами 44°36'N, 33°19'E – 44°39'N, 33°28'E в течение естественного нерестового сезона (апрель-май) 2010 г. [Giragosov, Khanaychenko, 2012]. Поскольку загрязнение спермы отрицательно влияет на физиологическое

состояние сперматозоидов, снижая содержание внутриклеточного АТФ [Dreanno et al., 1998], до сцеживания спермы у рыб аккуратно опорожняли мочевой пузырь и кишечный тракт, генитальную область промывали водой, обсушивали, а после этого в процессе лёгкого абдоминального массажа получали чистую текучую сперму, которую отбирали в стерильные шприцы, оценивали общий объём разовой спермопродукции и до лабораторного анализа сохраняли без доступа воздуха и влаги в закрытых шприцах при температуре  $4 \pm 1$  °C (в термосе) соответственно стандартным условиям кратковременного хранения спермы рыб [Павлов, 2006].

После доставки проб (образцов) спермы калкана в лабораторию их разбавляли стерильной черноморской водой (1:10000) и окрашивали липофильным флуорохромным зелёным красителем R123 (Sigma-Aldrich, США, конечная концентрация 2 мкг/мл). Благодаря своим липофильным свойствам R123 проникает через плазматическую мембрану клетки, а наличие его катионных свойств определяет его накопление в функционирующих митохондриях клетки, несущих отрицательный заряд на своей внутренней мембране (согласно фото сканирующей электронной микроскопии спермы калкана (собств. неопубл. данные) – на муфтообразном выступе вокруг короткой центральной средней части его сперматозоида располагается не менее 9 митохондрий). Поглощённый R123 обеспечивает флуоресцентные изображения митохондрий с высоким разрешением, которые можно использовать для оценки состояния митохондрий и мембран-

ного потенциала митохондрий, и, соответственно для дифференцировки различных групп функционирующих и дисфункциональных сперматозоидов. Цитометрические исследования окрашенной родамином спермы калкана проводили с помощью проточного цитометра CytomicsTM FC 500 (Beckman Coulter, США), оборудованного 488 нм однофазным аргоновым лазером, и программного обеспечения CXP.

Идентификацию сперматозоидов и их подгрупп с разным состоянием ММП проводили на цитограммах на основе их размерных характеристик (светорассеивания) и флуоресценции R123 в зелёной области спектра (пример анализа пробы приводится на рис. 1). Общую численность сперматозоидов определяли с помощью их гейтинга на 2-параметрических цитограмме прямого (канал FS) и бокового (SS) светорассеивания, где они образовывали хорошо выраженный кластер точек (гейт S на рис. 1.1). Далее отдельно исследовали кластер S на 2-параметрических цитограммах размеров (FS) и зелёной флуоресценции R123 (канал FL1, 525 нм) (рис. 1.2), а также гистограмме FL1 (рис. 1.3), что позволяло количественно оценить интенсивность флуоресценции функциональных митохондрий. Соответственно, выделяли две группы сперматозоидов: неокрашенные (R-) и окрашенные R123 (R+) (рис. 1.2-1.3). Дополнительно, среди (R+) оценивали долю и уровень МПМ сперматозоидов с максимальной флуоресценцией (SR+), которые образовывали на цитограммах заметный субклuster точек на «вершине» кластера R+ (см. обозначение SR+ на рис. 1.2 и 1.3).

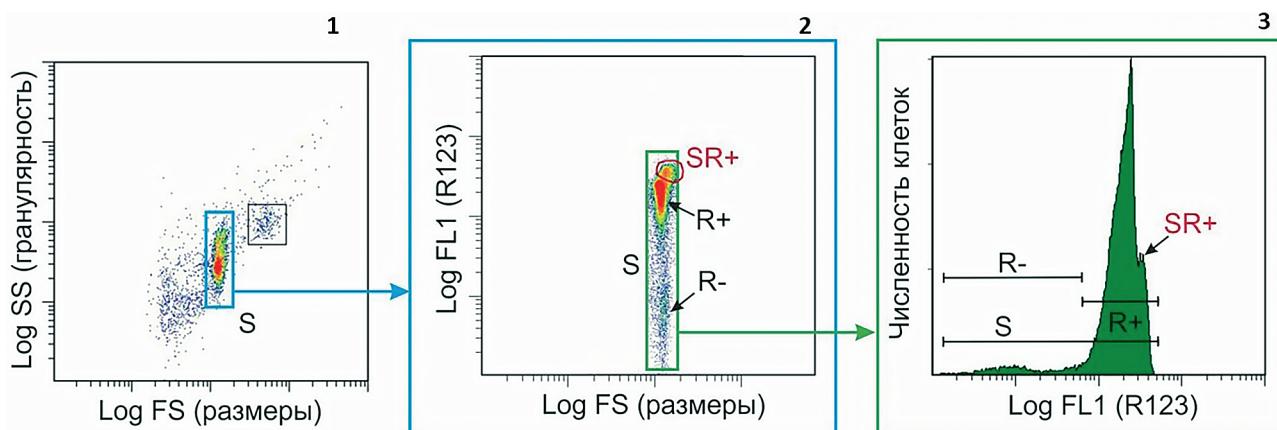


Рис. 1. Цитограммы спермы калкана, окрашенной родамином (R123) (разбавление 1:10000). Условные обозначения: совокупность всех сперматозоидов (S) (1.1), кластер неокрашенных сперматозоидов (R-), кластер окрашенных родамином сперматозоидов (R+) (1.2), субклuster (SR+) более крупных сперматозоидов с более интенсивной флуоресценцией R123 (1.3). Переменные прямого (FS) и бокового (SS) светорассеяния и зелёной флуоресценции R123 (FL1)

Fig. 1. Cytograms of turbot sperm stained with rhodamine (R123) (dilution 1:10000). Legend: total population of spermatozoa (S) (1.1), cluster of unstained spermatozoa (R-), cluster of rhodamine-stained spermatozoa (R+) (1.2), subcluster (SR+) of larger spermatozoa with more intense rhodamine 123 fluorescence (1.3). Variables of forward scatter (FS), side scatter (SS), and green fluorescence of rhodamine 123 (FL1)

Контроль качества цитометрических измерений проводили с помощью калибровочных флуоросфер Flow-Check™ (Beckman Coulter). Средние размеры сперматозоидов (их эквивалентный сферический диаметр – ESD) рассчитывали из соответствующих величин FS на основе калибровочных измерений, которые были проведены с набором полиэстеровых микросфер (Polysciences, Inc.) известного размера в диапазоне от 0,5 до 10 мкм.

Для всех самцов калкана, качество спермы которых оценивали с помощью цитометрического метода, был предварительно проведён биологический анализ по типовым методикам [Правдин, 1966]. Возраст рыб был определён по отолитам. Данные цитометрического анализа спермы самцов калкана были сопоставлены с данными биологического анализа черноморского калкана: общей длины (TL, см) и массы тела (W, г), и гонад (Wg, г), и коэффициентом упитанности рыб по Фултону (F). Коэффициент упитанности был рассчитан с использованием значений стандартной длины тела (SL, см), общей массы тела по уравнению в следующей форме: упитанность рыбы по Фултону  $F = W/SL^3 \times 100$ .

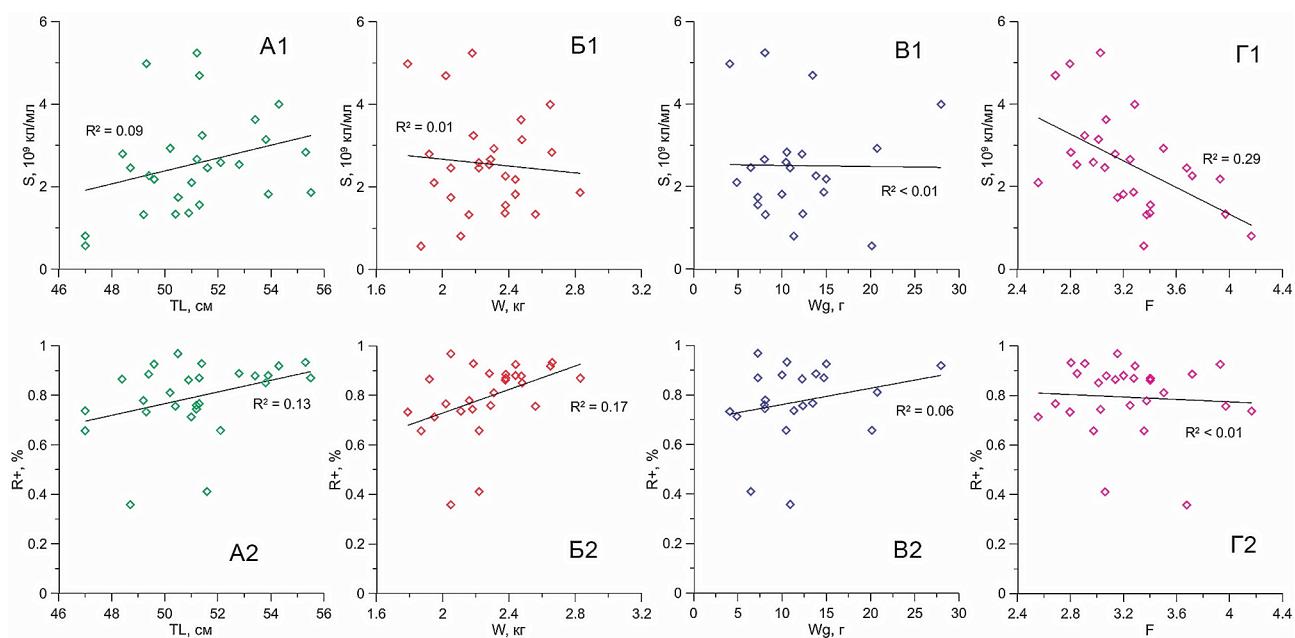
Статистический анализ проводили с использованием программного обеспечения Excel и Statistica 10. Значения были выражены как среднее  $\pm$  стандартное отклонение. Односторонний дисперсионный анализ (ANOVA) был использован для анализа различий меж-

ду средними значениями данных. Различия считались достоверными при  $p < 0,05$ . Для анализа возможной связи цитометрических показателей спермы и биологических характеристик самцов был использован метод линейной регрессии. Построение модели линейной регрессии и расчёт коэффициента детерминации  $R^2$  проводили с помощью программы STATISTICA 10.0.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ спермы калкана проводили на статистически достоверной группе (27 экз.) половозрелых самцов с разбросом длины от 47 до 55,5 см и веса от 1,8 до 2,8 кг.

Согласно данным проведённого нами цитометрического анализа концентрация сперматозоидов ( $S$ ) в сперме черноморского калкана из природных популяций варьировала от 0,6 до  $5 \times 10^9$  кл  $\text{мл}^{-1}$ , в среднем для всех изученных проб составляя  $2,8 \times 10^9$  кл  $\text{мл}^{-1}$ . Индивидуальные пробы спермы, полученные от разных самцов, различались не только по концентрации сперматозоидов, но и по количественному соотношению входящих в них кластеров неокрашенных ( $R^-$ ) и окрашенных R123 сперматозоидов ( $R^+$ ). В среднем, доля кластера окрашенных родадином сперматозоидов ( $R^+$ ) в составе всей совокупности сперматозоидов составила  $86,3 \pm 13,9\%$ , варьируя на индивидуальном уровне от 41,1 до 93,3%. Доля сперматозоидов с бо-



**Рис. 2.** Зависимость общей концентрации сперматозоидов ( $S$ ) и доли окрашенных родадином 123 сперматозоидов ( $R^+$ ) в сперме калкана от биологических показателей самцов: длины, TL, см (A1 и A2), веса рыбы W, кг (B1 и B2), веса гонад Wg, г (B1 и B2), коэффициента упитанности F (Г1 и Г2)

**Fig. 2.** Relationship between the total concentration of spermatozoa ( $S$ ) and the proportion of rhodamine 123-stained spermatozoa ( $R^+$ ) in turbot sperm and male biological parameters: fish length, TL, cm (A1 and A2), fish weight W, kg (B1 and B2), gonad weight Wg, g (B1 and B2), condition factor F (Г1 and Г2)

лее яркой флуоресценцией R123 – «суперокрашенных» сперматозоидов (SR+) составляла, в среднем,  $16,2 \pm 3,8\%$  от общего числа окрашенных родамином (R+) сперматозоидов, варьируя от 8,4 до 28,4%. Цитометрические оценки размеров сперматозоидов группы SR+ ( $ESD = 2,35 \pm 0,02$  мкм) оказались достоверно ( $P < 0,05$ ) выше средней  $ESD$  ( $2,23 \pm 0,03$  мкм) сперматозоидов в совокупной группы окрашенных родамином (R+). –

Проведённый анализ не выявил значимой связи между биологическими характеристиками самцов и цитометрическими характеристиками их спермы (рис. 2). Концентрация сперматозоидов в разных образцах спермы ( $S$ ) не зависела ни от размеров (длины,  $TL$ , см) (рис. 2 А1), ни от веса ( $W$ , кг) (рис. 2 Б1) рыбы или от веса её гонад ( $Wg$ , г) (рис. 2 В1), однако показала незначительную обратно пропорциональную зависимость от коэффициента упитанности рыбы  $F$  (рис. 2 Г1). Доля окрашенных R123 сперматозоидов (R+, %)

в сперме калкана также не зависела ни от одного из биологических показателей: длины,  $TL$ , см (рис. 2 А2), веса  $W$ , кг (рис. 2 Б2), веса гонад  $Wg$ , г (рис. 2 В2), коэффициента упитанности  $F$  (рис. 2 Г2).

Общая доля окрашенных сперматозоидов (R+) коррелировала с общей концентрацией сперматозоидов ( $S$ ) в сперме (рис. 3 А), также как и доля суперокрашенных родамином (SR+) с совокупной долей окрашенных родамином (R+) сперматозоидов (рис. 3 Б) с высокими коэффициентами детерминации  $R^2$  (0,87 и 0,82, соответственно). Напротив, ни доля суперокрашенных (SR+), ни совокупность окрашенных сперматозоидов (R+) не коррелировали с общей концентрацией сперматозоидов в сперме калкана (рис. 3 В и 3 Г).

Вариации концентрации сперматозоидов ( $S$ ) в сперме черноморского калкана из природных популяций, полученные с помощью цитометрического анализа ( $0,6-5 \times 10^9$  кл  $мл^{-1}$ ), составили, в среднем, для

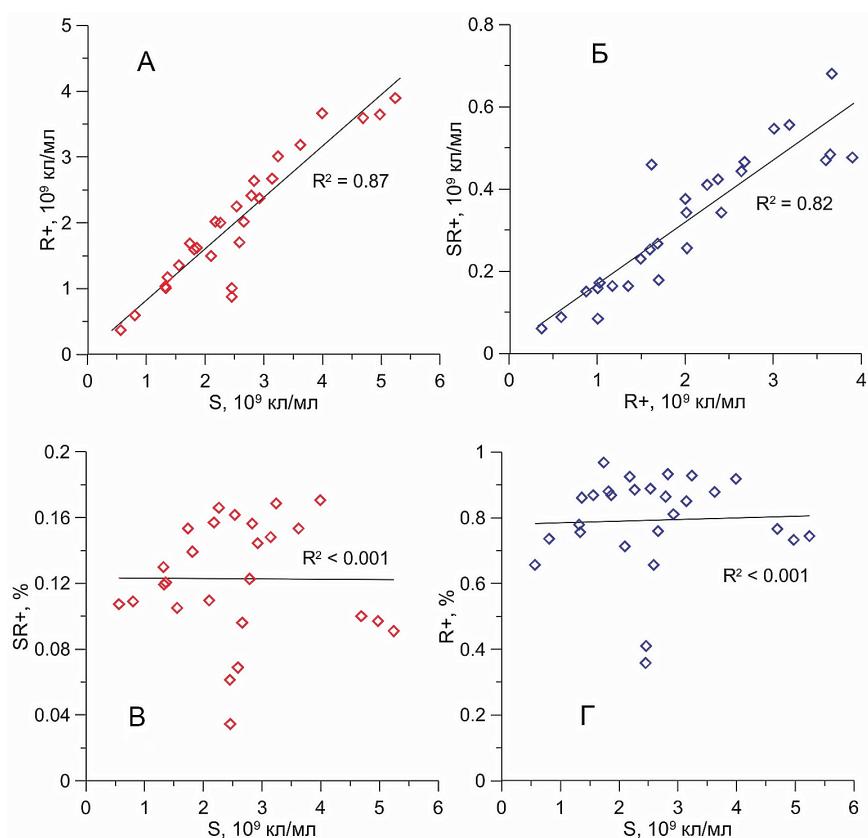


Рис. 3. Зависимости: (А) – доли окрашенных родамином 123 сперматозоидов (R+) от общей концентрации сперматозоидов в сперме калкана (S); (Б) – доли суперокрашенных (SR+) от совокупной доли окрашенных родамином 123 (R+); (В) – доли суперокрашенных (SR+) и (Г) – совокупной доли окрашенных сперматозоидов (R+) от общей концентрации сперматозоидов в сперме (S+)

Fig. 3. Relationships between: (A) – proportion of rhodamine 123-stained spermatozoa (R+) and total concentration of spermatozoa in turbot sperm (S); (B) – proportion of super-stained spermatozoa (SR+) and total proportion of rhodamine 123-stained spermatozoa (R+); (B) – proportion of super-stained spermatozoa (SR+) and (Г) – total proportion of stained spermatozoa (R+) relative to the total concentration of spermatozoa in sperm (S+)

всех изученных проб  $2,8 \times 10^9$  кл  $\text{мл}^{-1}$ . Эти показатели оказались сопоставимы со значениями концентрации спермы калкана из того же региона, определёнными с помощью прямого счёта в камере Горяева [Baianina et al., 2022], что позволяет нам говорить о сходимости данных методов подсчёта концентрации. У половозрелых самцов культивируемого калкана в турецком экспериментальном питомнике концентрация сперматозоидов в сперме была достоверно ниже –  $1,98 \pm 0,30 \times 10^9$  кл  $\text{мл}^{-1}$  [Polat et al., 2023], что, возможно, связано с тем, что в экспериментальных условиях аквакультуры, рыбы более подвержены стрессу, и условия их созревания и питания не полностью соответствуют условиям для оптимального процесса сперматогенеза.

Усреднённые размерные характеристики (ESD, мкм) сперматозоидов калкана, определённые нами с помощью проточной цитометрии ( $2,23 \pm 0,03$  мкм), были сравнимы с размерными характеристиками сперматозоидов балтийского тюббо, определёнными с помощью микроскопических измерений, варьирующими от  $2,10 \pm 0,03$  до  $2,3 \pm 0,04$  мкм для разных локаций Балтики [Gosz et al., 2010]. Размерные характеристики сперматозоидов тюббо из французских аквакультурных питомников варьировали в более широких пределах  $2,2 \pm 0,3$  мкм –  $2,9 \pm 0,3$  мкм) [Dreanno et al., 1999].

## ОБСУЖДЕНИЕ

Долю/процент сперматозоидов, окрашиваемых R123, можно интерпретировать как долю сперматозоидов с функциональными митохондриями в составе общей совокупности сперматозоидов [Barbagallo et al., 2020]. Поскольку R123 накапливается митохондриями в ответ на электрохимический градиент, создаваемый потенциалом митохондриальной мембранны, его поглощение чувствительно к таким факторам, как уровень калия или ионов водорода, которые непосредственно снижают потенциал митохондриальной мембранны, и, соответственно, с помощью метода можно достаточно точно оценивать уровень мембранны-опосредованных повреждений.

Полученные нами данные указывают на изменчивость состава спермы (концентрации и соотношения групп сперматозоидов с разной активностью, их размеров и значений МПМ, окрашенных родамином), варьирующих, по-видимому, в зависимости от индивидуальной генетики и физиологического состояния конкретного организма. Совокупность факторов может влиять как на запасы АТФ в сперматозоидах, так и на состояние и состав мембран сперматозоидов. Известно, что, помимо различий между составом спермы разных индивидуумов, в любом образце индивидуальной спермы могут присутствовать гетеро-

генные кластеры сперматозоидов [Holt et al., 2004]. Существование кластеров более активных сперматозоидов (SR+) в общей совокупности сперматозоидов спермы разных самцов калкана, может обуславливать повышение конкурентоспособности спермы в разнообразных условиях среды. Физиологические характеристики сперматозоидов кластера SR+ остаются пока не выясненными, однако, по-видимому, они образуют наиболее активную фракцию спермы.

Подвижность сперматозоидов у р. *Scophthalmus* безусловно зависит, главным образом, от эндогенного содержания АТФ, накопленного заранее в митохондриях сперматозоидов, и основная часть кatabолизма АТФ связана с динеин-АТФ-азой, в противоположность другим рыбам, а не с АТФ, полученной в процессе митохондриальной фосфорилиации в течение подвижной фазы. В интактной сперме рыб р. *Scophthalmus* 90% аденоzinовых нуклеотидов находятся в наиболее высокоэнергетической форме – АТФ с внутриклеточным содержанием в пределах 17-23 нмоль  $10^{-8}$  сп.  $^{-1}$  в исходно неподвижном сперматозоиде тюббо в неактивированной сперме [Dreanno et al., 1998]. Однако, известно, что часть дополнительной, необходимой для более длительного движения сперматозоидов, энергии, поступает в результате анаэробной ферментации и окислительного фосфорилирования [Dreanno et al., 2000], и вырабатывается в процессе движения сперматозоида за счёт высокой эффективности митохондриального окислительного фосфорилирования / митохондриальной активности [Dreanno et al., 1999]. Во время периода «перезагрузки», проходящей, предположительно, в результате дыхательной активности митохондрий [Cosson et al., 2008], в процессе движения сперматозоида за счёт высокой эффективности митохондриального окислительного фосфорилирования / митохондриальной активности сперматозоиды рыб р. *Scophthalmus* восстанавливают практически исходный уровень АТФ клетки [Dreanno et al., 1998]. Эти особенности метаболизма сперматозоидов калкана поясняют важность функциональности их митохондрий для жизнеспособности и длительности движения сперматозоидов.

Особенность спермы камбалы калкан, выделяющая её среди спермы не только пресноводных, но и других морских рыб, характеризуется также присутствием в её липидном составе значительного количества фосфолипидов, с доминированием фосфатидилхолина, имеющего высокое сродство с мембранами. В составе фосфатидилэтаноламина спермы калкана обнаружено высокое содержание ненасыщенной жирной докозагексаеновой кислоты (ДГК) 22:6n-3 (до 21,6%) [Drokin, 1993], обеспечивающей высокую

проницаемость мембран. Вариабельность ДГК в сперме калкана, связанная с метаболизмом и стрессом, может влиять на состояние МПМ, определяемое с помощью данного метода. Индивидуальные различия в соотношении эссенциальных компонентов, особенно полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) в составе спермы калкана, могут влиять на механизмы осморегуляции сперматозоидов, и, соответственно, на их подвижность. Например, известно, что добавка витамина Е в пище приводила к увеличению содержания ПНЖК и, как следствие, к улучшению качества спермы (концентрации, подвижности и морфологии сперматозоидов) тюрбо [Xu et al., 2015].

Первые пробные эксперименты по кратковременному замораживанию спермы черноморского калкана и успешному искусственному оплодотворению икры спермой после её заморозки и оттаивания показали возможность сохранения жизнеспособности спермы калкана после замораживания. Несмотря на снижение активности спермы после экспериментальной криоконсервации (с 80% у нативной до 60% у размороженной), развитие икры калкана после её оплодотворения размороженной спермой, проходило без аномалий [Копейка и др., 1987]. Проточный цитометрический анализ спермы близкородственного калкану тюрбо *Scophthalmus maximus* после её замораживания выявил до 93% (в среднем 80%) неповреждённых плазматических мембран и митохондрий сперматозоидов [Ogier De Baulny et al., 1997], и нормальную дыхательную активность митохондрий [Dreanno et al., 1997]. Криоконсервация спермы тюрбо для целей аквакультуры показала возможность использования её после разморозки для оплодотворения икры с результатами процента оплодотворения (и, впоследствии, вылуплением личинок), сопоставимыми с таковыми при использовании свежей спермы [Chen et al., 2004].

Отсутствие значимой связи/корреляции между цитометрическими характеристиками сперматозоидов с биологическими показателями самцов калкана, по-видимому, свидетельствует о том, что, несмотря на различия в длине и весе (от 47 до 55,5 см и весом от 1,8 до 2,8 кг) рыб, образцы спермы принадлежали к достаточно однородной группе половозрелых самцов из одной нерестовой популяции, находящейся в сходных экологических и трофических условиях. Аналогично, ранее не было обнаружено значимой корреляции между различиями в морфологических характеристиках сперматозоидов и характеристиками самцов (длина, объём сперматозоидов, масса гонад, гонадосоматический индекс) у балтийского тюрбо [Gosz et al., 2010]; также как и между характеристи-

ками спермы и весом, и возрастом самцов атлантического тюрбо (в диапазоне веса 1,4-3,2 кг) из европейских аквакультурных ферм [Suquet et al., 1994]. Индивидуальные различия характеристик спермы, безусловно, отражают комбинированные взаимодействия между генетическими характеристиками и физиологическим состоянием самцов, помимо влияния многочисленных абиотических и биотических факторов [Kowalskj, Cejko, 2019].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработка эффективных методов оценки спермы необходима как для оценки состояния репродуктивных характеристик самцов черноморского калкана из естественных популяций, которые можно будет использовать для селекции наилучших производителей как для создания маточных стад калкана и других видов ценных морских рыб для аквакультурной промышленности, так и для оценки состояния их сперматозоидов в процессе и после их криоконсервации. В перспективе для оценки интактной и криопрезервированной спермы при создании банка спермы самцов черноморского калкана в целях генетико-селекционных работ по данному виду, как это практикуется для атлантического тюрбо, может быть рекомендован модифицированный метод проточной цитометрии, результаты анализа которого показаны в данной работе.

Данную работу авторы начинали вместе с нашим коллегой и другом, к. б. н. **Виталием Евгеньевичем Гирагосовым**. В работе использованы данные по биологическим характеристикам самцов калкана из составленной им базы данных по популяциям черноморского калкана. Блестящий ихтиолог, В.Е. Гирагосов ушёл из жизни 20 февраля 2022 г. Мы благодарны ему за многолетнее успешное сотрудничество.

## Благодарности

Авторы благодарны неизвестным рецензентам за помощь и ценные рекомендации по улучшению статьи.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

## Финансирование

Работа была выполнена в рамках государственных заданий ФИЦ ИнБЮМ по темам №№ гос. регистрации 124022400152-1 и 124030400057-4.

## ЛИТЕРАТУРА

- Воронина Е.П. 2010. К морфологии и систематике представителей семейства Scophthalmidae // Вопросы ихтиологии. Т. 50. № 6, с. 725-733. DOI: 10.1134/S00329452100090018.
- Гирагосов В.Е. 2020. Формирование и реализация плодовитости у черноморского калкана *Scophthalmus maeoticus* (Scophthalmidae) на юго-западном шельфе Крымского полуострова // Вопросы ихтиологии. Т. 60. № 4. С. 442-451. DOI:10.1134/S0032945220040050.
- Копейка Е.Ф., Чепурнов А.В., Дрокин С.И., Владимирицев В.Б., Александров Ю.Г. 1987. Низкотемпературная пресервация спермы черноморских рыб (*Psetta maeotica* Pallas) и бычка (*Neogobius melanostomus* Pallas) // Криобиология. № 4. С. 48-49.
- Марти Ю.Ю. 1939. Материалы к биологии черноморской камбалы-калкана (*Rhombus maeoticus* Pallas) // Сб. посвящ. науч. деятельности почетного члена АН СССР, засл. деятеля науки и техники Н.М. Книповича (1885-1939). М.: Изд-во АН СССР. С. 232-253.
- Павлов Д.А. 2006. Метод оценки качества спермы рыб // Вопр. ихтиологии. Т. 46. № 3. С. 384-392. DOI: 10.1134/S0032945206050055.
- Правдин И.Ф. 1966. Руководство по изучению рыб. М.: Пищ. пром-сть, 376 с.
- Baiandina I., Giragosov V., Khanaychenko A. 2022. Male reproductive potential in the Black Sea turbot (*Scophthalmus maximus*) spawning populations // Fisheries Research. V.253:106367. DOI: 10.1016/j.fishres.2022.106367.
- Barbagallo F., La Vignera S., Cannarella R., Aversa A., Calogero A.E., Condorelli R.A. 2020. Evaluation of sperm mitochondrial function: a key organelle for sperm motility // J. Clinical Medicine. V. 9. № 2. P. 363 (1-12). DOI:10.3390/jcm9020363.
- Bian X., Zhang X., Gao T., Wan R., Chen S., Sakurai Y. 2010. Morphology of unfertilized mature and fertilized developing marine pelagic eggs in four types of multiple spawning flounders // Ichthyological Research. V. 57. № 4. P. 343-357. DOI 10.1007/s10228-010-0167-1.
- Chanet B. 2003. Interrelationships of Scophthalmid fishes (Pleuronectiformes: Scophthalmidae) // Cybium. V 27. № 4. P. 275-286.
- Chen S.L., Ji X.S., Yu G.C., Tian, Y.S., Sha, Z.X. 2004. Cryopreservation of sperm from turbot (*Scophthalmus maximus*) and application to large-scale fertilization // Aquaculture. V.236. P. 547-556. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2003.10.027.
- Cosson J. 2004. The ionic and osmotic factors controlling motility of fish spermatozoa// Aquaculture International. V. 12. P.69-85. DOI:10.1023/B:AQUI.0000017189.44263.bc
- Cosson J., Graison A.-L., Suquet M., Fauvel C., Dreanno C., Billard R. 2008. Studying sperm motility in marine fish: an overview on the state of the art // J. Appl. Ichthyol. V. 24. № 4. P. 460-486. DOI: 10.3389/fmars.2019.00740.
- Dreanno C., Suquet M., Desbruyeres E., Cosson J., Le Delliou H., Billard R. 1998. Effect of urine on semen quality in turbot (*Psetta maxima*) // Aquaculture. V. 169. № 3-4. P. 247-262. DOI: 10.1016/S0044-8486(98)00262-2.
- Dreanno C., Cosson J., Suquet M., Seguin F., Dorange G., Billard R 1999. Nucleotide content, oxydative phosphorylation, morphology, and fertilizing capacity of turbot (*Psetta maxima*) spermatozoa during the motility period // Molecular reproduction and development: incorporating gamete research. V. 53. № 2. P. 230-243. DOI: 10.1002/(SICI)1098-2795(199906)53:2<230: AID-MRD12>3.0.CO;2-H.
- Dreanno C., Seguin F., Cosson J., Suquet M., Billard R. 2000. 1H-NMR and 31P-NMR analysis of energy metabolism of quiescent and motile turbot (*Psetta maxima*) spermatozoa // J. Experimental Zoology. V.286. № .5. P. 513-522. DOI: 10.1002/(SICI)1097-010X(20000401)286:5<513:: AID-JEZ9>3.0.CO;2-5.
- Drokin S.I. 1993. Phospholipid distribution and fatty acid composition of phosphatidylcholine and phosphatidylethanolamine in sperm of some freshwater and marine species of fish // Aquatic Living Resources. V. 6. № 1. P. 49-56.
- Evanson D. P., Darzynkiewicz Z., Melamed M. R. 1982. Simultaneous measurement by flow cytometry of sperm cell viability and mitochondrial membrane potential related to cell motility // J. Histochem Cytochem. V. 30. № 3. P. 279-280. DOI: 10.1177/30,3,6174566.
- Giragosov V.E., Khanaychenko, A.N. 2012. The state-of-art of the Black Sea turbot spawning population off Crimea (1998-2010) // Turk. J. Fish. Aquatic Sciences. № 12 (Sp. Iss.). P. 377-383. DOI: 10.4194/1303-2712-v12\_2\_25\_9.
- Gosz E., Mirny Z., Horbony J., Zieta M.S. 2010. Morphometry of turbot spermatozoa in relation to the location and time of capture during the spawning season // J. Applied Ichthyology. V.26. № 5. P. 784-788. DOI: 10.1111/j.1439-0426.2010.01547.x
- Holt W. V., Van Look K.J.W. 2004. Concepts in sperm heterogeneity, sperm selection and sperm competition as biological foundations for laboratory tests of semen quality // Reproduction. V. 127. № 5. P. 52-535. DOI: 10.1530/rep.1.00134.
- Kowalski R. K., Cejko B. I. 2019. Sperm quality in fish: Determinants and affecting factors // Theriogenology. V. 135. P. 94-108. DOI: 10.1016/j.theriogenology.2019.06.009.
- Liu Q. H., Li J., Zhang S. C., Xiao Z. Z., Ding F. H., Yu D. D., Xu X. Z. 2007. Flow cytometry and ultrastructure of cryopreserved red seabream (*Pagrus major*) sperm // Theriogenology. V.67. № 6. P. 1168-1174. DOI:10.1016/j.theriogenology.2006.12.013.
- Liu Y., Liu Q., Xu S., Wang Y., Feng C., Zhao C., Song Z., Li J. 2021. A deep insight of spermatogenesis and hormone levels of aquacultured turbot (*Scophthalmus maximus*) // Frontiers in Marine Science 7: 592880. DOI: 10.3389/fmars.2020.592880
- Ogier De Baulny O.B., Le Vern Y., Kerboeuf D., Maisse G. 1997. Flow cytometric evaluation of mitochondrial activity and membrane integrity in fresh and cryopreserved rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) spermatozoa // Cryobiology. V.34. № 2. P. 141-149. DOI: 10.1006/cryo.1996.1992.

- Paniagua-Chávez C.G., Jenkins J., Segovia M., Tiersch T.R. 2006. Assessment of gamete quality for the eastern oyster (*Crassostrea virginica*) by use of fluorescent dyes // *Cryobiology*. V.53. № .1. P. 128-138. DOI: 10.1016/j.cryobiol.2006.05.001.
- Polat H., Kurtoglu I.L. 2023. Effect of antioxidants on cryopreserved turbot (*Scophthalmus maximus*) spermatozoa quality and DNA damage // *Turk. J. Fish. Aquat. Sci.* V. 23. № 4, TRJFAS22300 DOI: 10.4194/TRJFAS22300.
- Segovia M., Jenkins J.A., Paniagua-Chavez C., Tiersch T.R. 2000. Flow cytometric evaluation of antibiotic effects on viability and mitochondrial function of refrigerated spermatozoa of Nile tilapia // *Theriogenology*. V. 53. № 7. P. 1489-1499. DOI: 10.1016/j.cryobiol.2006.05.001.
- Suquet M., Billard R., Cosson J., Dorange G., Chauvaud L., Mugnier C., Fauvel C. 1994. Sperm features in turbot (*Scophthalmus maximus*): a comparison with other freshwater and marine fish species // *Aquatic Living Resources*. V. 7. № 4. P. 283-294. DOI: 10.1051/alar:1994031.
- Turan C., Ivanova P.P., Raykov V.S., Gurlek M., Erguden D. et al. 2019. Genetics structure analysis of turbot (*Scophthalmus maximus*, Linnaeus, 1758) in the Black and Mediterranean Seas for application of innovative management strategies // *Frontiers in Marine Science*. V. 6. Art. № . 740. P. 1-9. DOI: 10.3389/fmars.2019.00740.
- Xu H., Huang L., Liang M., Zheng K., Wang X. 2015. Effect of dietary vitamin E on the sperm quality of turbot (*Scophthalmus maximus*) // *J. Ocean University of China*. V.14. P.695-702. DOI 10.1007/s11802-015-2555-7.
- REFERENCES**
- Veronina E.P. 2010. On morphology and taxonomy of Scophthalmidae // *J. Ichthyol.* V. 50. No. 9. P. 695-703. DOI: 10.1134/S00329452100090018. (In Russ.).
- Giragosov V.E. 2020. Forming and realization of fecundity in the Black Sea turbot *Scophthalmus maeoticus* (Scophthalmidae) at the South-Western shelf of the Crimean Peninsula // *J. Ichthyol.* V. 60. No 4. P. 608-617. DOI:10.1134/S0032945220040050. (In Russ.).
- Kopeika E.F., Chepurnov A.V., Drokin S.I., Vladimirtsev V.B., Alexandrov Yu.G. 1987. Low temperature preservation of sperm of the Black Sea fish *Psetta maeotica* Pallas and bullhead *Neogobius melanostomus* Pallas // *Kriobiologiya* № 4. P. 48-49 (In Russ.).
- Marti Yu.Yu. 1939. Materials on the biology of the flatfish *Rhombus maeoticus* Pallas in the Black Sea // Col. of scientific articles in honour of scientific activity of N.M. Knipovich (1885-1939). U.R.S.S. Acad. of Sci. Pub. House, Moscow: 232-253. (in Russ.)
- Pavlov D.A. 2006. A method for the assessment of sperm quality in fish // *Journal of Ichthyology*. V. 46. P. 391-398. DOI: 10.1134/S0032945206050055. (In Russ.).
- Pravdin I.F. 1966. Guide to the Fish Study. M.: Food industry, 376 p. (In Russ.).
- Baiandina I., Giragosov V., Khanaychenko A. 2022. Male reproductive potential in the Black Sea turbot (*Scophthalmus maximus*) spawning populations // *Fisheries Research*. V.253:106367. DOI: 10.1016/j.fishres.2022.106367
- Barbagallo F., La Vignera S., Cannarella R., Aversa A., Calogero A.E., Condorelli R.A. 2020. Evaluation of sperm mitochondrial function: a key organelle for sperm motility // *J. Clinical Medicine*. V.9. № 2. P. 363 (1-12). DOI:10.3390/jcm9020363.
- Bian X., Zhang X., Gao T., Wan R., Chen S., Sakurai Y. 2010. Morphology of unfertilized mature and fertilized developing marine pelagic eggs in four types of multiple spawning flounders // *Ichthyological Research*. V. 57. № 4. P. 343-357. DOI 10.1007/s10228-010-0167-1.
- Chanet B. 2003. Interrelationships of Scophthalmid fishes (Pleuronectiformes: Scophthalmidae) // *Cybium*. V 27. № 4. P. 275-286.
- Chen S.L., Ji X.S., Yu G.C., Tian, Y. S., Sha, Z. X. 2004. Cryopreservation of sperm from turbot (*Scophthalmus maximus*) and application to large-scale fertilization // *Aquaculture*. V.236. P. 547-556. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2003.10.027.
- Cosson J. 2004. The ionic and osmotic factors controlling motility of fish spermatozoa// *Aquaculture International*. V. 12. P. 69-85. DOI:10.1023/B:AQUI.0000017189.44263.bc
- Cosson J., Groison A.-L., Suquet M., Fauvel C., Dreanno C., Billard R. 2008. Studying sperm motility in marine fish: an overview on the state of the art // *J. Appl. Ichthyol.* V. 24. № 4. P. 460-486. DOI: 10.3389/fmars.2019.00740.
- Dreanno C., Suquet M., Desbruyeres E., Cosson J., Le Delliou H., Billard R. 1998. Effect of urine on semen quality in turbot (*Psetta maxima*) // *Aquaculture*. V. 169. № 3-4. P. 247-262. DOI: 10.1016/S0044-8486(98)00262-2.
- Dreanno C., Cosson J., Suquet M., Seguin F., Dorange G., Billard R 1999. Nucleotide content, oxydative phosphorylation, morphology, and fertilizing capacity of turbot (*Psetta maxima*) spermatozoa during the motility period // *Molecular reproduction and development: incorporating gamete research*. V. 53. № .2. P. 230-243. DOI: 10.1002/(SICI)1098-2795(199906)53:2<230::AID-MRD12>3.0.CO;2-H.
- Dreanno C., Seguin F., Cosson J., Suquet M., Billard R. 2000. 1H-NMR and 31P-NMR analysis of energy metabolism of quiescent and motile turbot (*Psetta maxima*) spermatozoa // *J. Experimental Zoology*. V. 286. № 5. P. 513-522. DOI: 10.1002/(SICI)1097-010X(20000401)286:5<513::AID-JEZ9>3.0.CO;2-5/
- Drokin S.I. 1993. Phospholipid distribution and fatty acid composition of phosphatidylcholine and phosphatidylethanolamine in sperm of some freshwater and marine species of fish // *Aquatic Living Resources*. V. 6. № 1. P. 49-56.
- Evenson D. P., Darzynkiewicz Z., Melamed M. R. 1982. Simultaneous measurement by flow cytometry of sperm cell viability and mitochondrial membrane potential related to cell motility // *J. Histochem Cytochem*. V. 30. № 3. P. 279-280. DOI: 10.1177/30,3,6174566.
- Giragosov V.E., Khanaychenko, A.N. 2012. The state-of-art of the Black Sea turbot spawning population off Crimea (1998-2010) // *Turk. J. Fish. Aquatic Sciences*. № 12 (Sp. Iss.). P. 377-383. DOI: 10.4194/1303-2712-v12\_2\_25. 9.

- Gosz E., Mirny Z., Horbowy J., Ziętara M.S. 2010. Morphometry of turbot spermatozoa in relation to the location and time of capture during the spawning season // *J. Applied Ichthyology*. V.26. № 5. P. 784-788. DOI: 10.1111/j.1439-0426.2010.01547.x
- Holt W. V., Van Look K.J.W. 2004. Concepts in sperm heterogeneity, sperm selection and sperm competition as biological foundations for laboratory tests of semen quality // *Reproduction*. V. 127. № 5. P. 52-535. DOI: 10.1530/rep.1.00134
- Kowalski R. K., Cejko B. I. 2019. Sperm quality in fish: Determinants and affecting factors // *Theriogenology*. V. 135. P. 94-108. DOI: 10.1016/j.theriogenology.2019.06.009.
- Liu Q.H., Li J., Zhang S.C., Xiao Z.Z., Ding F.H., Yu D.D., Xu X.Z. 2007. Flow cytometry and ultrastructure of cryopreserved red seabream (*Pagrus major*) sperm // *Theriogenology*. V.67. № 6. P. 1168-1174. DOI:10.1016/j.theriogenology.2006.12.013.
- Liu Y., Liu Q., Xu S., Wang Y., Feng C., Zhao C., Song Z., Li J. 2021. A deep insight of spermatogenesis and hormone levels of aquacultured turbot (*Scophthalmus maximus*) // *Frontiers in Marine Science* 7: 592880. DOI: 10.3389/fmars.2020.592880.
- Ogier De Baulny O.B., Le Vern Y., Kerboeuf D., Maisse G. 1997. Flow cytometric evaluation of mitochondrial activity and membrane integrity in fresh and cryopreserved rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) spermatozoa // *Cryobiology*. V.34. № 2. P. 141-149. DOI: 10.1006/cryo.1996.1992
- Paniagua-Chávez C.G., Jenkins J., Segovia M., Tiersch T.R. 2006. Assessment of gamete quality for the eastern oyster (*Crassostrea virginica*) by use of fluorescent dyes // *Cryobiology*. V.53. № .1. P. 128-138. DOI: 10.1016/j.cryobiol.2006.05.001
- Polat H., Kurtoglu I.L. 2023. Effect of antioxidants on cryopreserved turbot (*Scophthalmus maximus*) spermatozoa quality and DNA damage // *Turk. J. Fish. Aquat. Sci.* V. 23. № 4, TRJFAS22300 DOI: 10.4194/TRJFAS22300
- Segovia M., Jenkins J.A., Paniagua-Chavez C., Tiersch T.R. 2000. Flow cytometric evaluation of antibiotic effects on viability and mitochondrial function of refrigerated spermatozoa of Nile tilapia // *Theriogenology*. V. 53. № 7. P. 1489-1499. DOI: 10.1016/j.cryobiol.2006.05.001
- Suquet M., Billard R., Cosson J., Dorange G., Chauvaud L., Mugnier C., Fauvel C. 1994. Sperm features in turbot (*Scophthalmus maximus*): a comparison with other freshwater and marine fish species // *Aquatic Living Resources*. V. 7. № 4. P. 283-294. DOI: 10.1051/alr:1994031
- Turan C., Ivanova P.P., Raykov V.S., Gurlek M., Erguden D. et al. 2019. Genetics structure analysis of turbot (*Scophthalmus maximus*, Linnaeus, 1758) in the Black and Mediterranean Seas for application of innovative management strategies // *Frontiers in Marine Science*. V. 6. Art. № . 740. P. 1-9. DOI: 10.3389/fmars.2019.00740
- Xu H., Huang L., Liang M., Zheng K., Wang X. 2015. Effect of dietary vitamin E on the sperm quality of turbot (*Scophthalmus maximus*) // *J. Ocean University of China*. V.14. P. 695-702. DOI 10.1007/s11802-015-2555-7

Поступила в редакцию 04.02.2025 г.  
Принята после рецензии 26.02.2025 г.

УДК 599.745.31

## Промысловые виды и их биология

# Оценка воспроизводства беломорской популяции гренландского тюленя в 2023 и 2024 гг.

Л.К. Сидоров<sup>1</sup>, В.А. Бизиков<sup>1</sup>, В.Б. Забавников<sup>2</sup>, С.А. Егоров<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Полярный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н.М. Книповича), ул. Академика Книповича, 6, г. Мурманск, 183038

E-mail: sidorov@vniro.ru

SPIN-код: Сидоров Л.К. – 4497-6033; Бизиков В.А. – 3272-0808; Забавников В.Б. – 2274-8968; Егоров С.А. – 6181-6721

**Цель работы:** оценка воспроизводства гренландского тюленя беломорской популяции на льдах Белого моря в период весеннего размножения в 2023 и 2024 гг.

**Методы:** авиаучёт гренландского тюленя в Белом море с применением беспилотных воздушных судов самолётного типа для оценки численности приплода. Применена методика мультиспектрального авиаучёта, которая заключается в съёмке залёжек тюленей синхронно в инфракрасной и видимой областях спектров. Обработка данных и расчёт численности осуществлялась по фотографиям видимого и ИК-диапазонах с помощью предварительно обученной нейросети в программе Python с использованием модуля Yolo v4. Оценка численности приплода гренландского тюленя на обследованной акватории проводилась по методу раздельной экстраполяции. Общая численность гренландского тюленя оценивалась посредством когортного анализа с учётом естественной смертности разных поколений.

**Новизна –** полномасштабная мультиспектральная съёмка в Белом море с применением одновременно нескольких БВС. Автоматическая обработка большого объёма цифровых фотоснимков в оптическом и инфракрасном диапазонах с применением технологии компьютерного зрения для поиска и распознавания животных на снимках.

**Результат:** общая численность гренландского тюленя в 2024 г. составила 1 548 840 экз., в том числе 141 692±8 696 щенков. Оценка пополнения 2023 г. была ниже и оценена на уровне 124 645 + 20774 щенков. Распределение и уровень смертности щенков гренландского тюленя на дрейфующих льдах Белого моря в марте – апреле определяются ледовой обстановкой, сформировавшейся под воздействием ветров и течений. Межгодовые колебания численности пополнения гренландского тюленя обусловлены численностью половозрелых самок, участвующих в размножении.

**Практическая значимость:** полученные данные будут использованы для оценки численности беломорской популяции гренландского тюленя и разработки рекомендаций по её сохранению и рациональному использованию.

**Ключевые слова:** гренландский тюлень, Белое море, авиаучёт, пополнение, популяция, численность, нейросеть.

## Assessment pup production in the harp seal population of the White Sea in 2023 and 2024

Lev K. Sidorov<sup>1</sup>, Vyacheslav A. Bizikov<sup>1</sup>, Vladimir B. Zabavnikov<sup>2</sup>, Sergey A. Egorov<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Polar branch of VNIRO (N.M. Knipovich «PINRO»), 6, Academician Knipovich St., Murmansk, 183038, Russia

**The aim** of the research to assess the pup production in the harp seal population in the White Sea in 2023 and 2024.

**Methods.** An aerial survey of marine mammals to assess the abundance of pups and adults of the White Sea harp seal population using unmanned aerial vehicles/drones (UAVs) was conducted over the areas of drifting ice in the White Sea. A multispectral technique was applied which consisted in simultaneous photographing of the sea surface done with a high-resolution photo-camera and an infrared (IR) camera. Aerial survey data (synchronized pairs of photo- and IR-images) were processed using the «Python» neural network with the «Yolo v4» module. An assessment of harp seal pup production was carried out using the method of discrete extrapolation. The harp seal population was calculated using cohort analysis taking into account of mortality by years.

**Novelty.** Full-scale multispectral aerial survey using several UAVs simultaneously. Automatic processing of huge amounts of digital photographs in optical and infrared ranges using computer vision technologies to find and recognize animals in photographs.

**Result.** The 2024 data provided a total number of the White Sea harp seal population of 141692 + 8696 newborn pups and a total harp seal population estimate of 1548840 individuals. The 2023 assessment pup production was lower and was estimated at 124645 + 20774 individuals. The distribution of harp seal pups on the drifting ice of the White Sea in the winter-spring period is determined mainly by the ice conditions and wind conditions. Interannual fluctuations in the number of harp seal pups are determined by the number of mature females participating in reproduction.

**Practical significance:** the data obtained will be used to assess the size of the White Sea population of harp seals and to develop recommendations for its conservation and rational use.

**Keywords:** Harp seal *Pagophilus groenlandicus*, White Sea, aerial survey, pup production, population, number, neural network.

## ВВЕДЕНИЕ

Гренландский тюлень *Pagophilus groenlandicus* (Erxleben, 1777) беломорской популяции (далее рассматриваются только представители этой популяции) – важная компонента экосистемы Баренцева и Белого морей. До недавнего времени этот вид был важным объектом зверобойного промысла, осуществлявшегося Норвегией и Россией [Дорофеев, 1951; Репневский, 1999; Гренландский тюлень..., 2001; Лукин, Огнетов, 2011]. В экосистемах Белого и Баренцева морей гренландский тюлень является хищником высшего трофического уровня, конкурирующим за кормовые ресурсы (рыбу и беспозвоночных) с другими пагофильными тюленями – кольчатой нерпой, морским зайцем и серым тюленем и оказывающим значительное влияние на запасы промысловых рыб [Светочев, Светочева, 2018; Коржев и др., 2019]. Знания о современной численности гренландского тюленя необходимы для понимания его роли в экосистеме Белого и Баренцева морей в условиях происходящих климатических изменений и растущего антропогенного воздействия.

Для расчёта общей численности гренландского тюленя применяют популяционные модели, ключевым параметром которых является оценка воспроизводства. В период 1963–1991 гг. ежегодное пополнение гренландского тюленя оценивалось посредством аэрофотосъёмки половозрелых самок на льду в период щенки [Potelov et al., 2003].

Поскольку часть щенков в момент учёта находится в воде, а усилия по проведению сплошной съёмки стали велики [Попов, 1971 а], то с середины 1990-х гг. в Белом море стала применяться трансектная съёмка для учёта щенков. Съёмку проводили с самолётов различного типа и вертолёта Ми-8. Фотографии залёжек делали на черно-белую плёнку, а также видео-ИК-УФ- диапазонах [Светочев, Светочева, 2018].

В 1998 г. в Белом море была выполнена полномасштабная мультиспектральная авиаисследование щенков залёжек с борта самолёта-лаборатории АН-26 «Арктика» [Черноок и др., 1999; 2000]. До 2013 г. «ПИНРО» им. Н.М. Книповича провёл десять мультиспектральных авиаучётов численности гренландских тюленей (взрослых особей и приплода) на акватории Белого моря [Коржев, Забавников, 2017]. По результатам этих работ, численность щенков в первые годы (с 1998 по 2003 гг.) оценивалась на уровне 286–330 тыс. Начиная с 2004 г. оценки численности щенков стали снижаться: до 234 тыс. в 2004 г., и до 122–123 тыс. в 2005–2008 гг. Последующие две съёмки в 2009 г. и в 2010 г.

показали небольшое увеличение численности щенков (до 157–163 тыс.), однако съёмка, проведённая в 2013 г., снова зафиксировала уменьшение численности щенков до 129 тыс. [Шафиков, 2015].

В последние годы быстрое развитие беспилотных воздушных судов самолётного типа (БВС) включило в повестку дня вопрос о возможности их применения для авиаучётов морских млекопитающих и, в частности, гренландского тюленя. Возможность БВС охватывать за один полёт расстояния более 1000 км дало возможность проводить авиаучёты на больших площадях. Кроме того, низкий уровень шума БВС по сравнению с пилотируемым самолётом делает его незаметным для тюленей, исключает беспокойство, тревожность зверя, а значит, повышает точность исследования. Проведённые авиаучётные работы ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» на Ладожском озере, Байкале, Северном Каспии с применением новых методов и технических средств [Бизиков и др., 2019; 2022 а, б; Сидоров и др., 2023] показали успешность этого метода и позволили провести полномасштабные мультиспектральные авиаисследования щенков залёжек гренландского тюленя на льдах Белого моря.

Целью работы является представление результатов по оценке воспроизводства гренландского тюленя на льдах Белого моря в весенние периоды 2023 и 2024 гг. с использованием современных инструментальных технических средств и методов авиаисследования в инфракрасном и оптическом диапазонах длин электромагнитных волн, выполняемых с борта БВС.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для анализа материалов исследований нами было использовано районирование акватории Белого моря [Гидрометеорология ..., 1991]. В ходе авиаучётов 2023 и 2024 гг. гренландские тюлени были встречены в следующих районах: Воронка, Мезенский залив, Горло и Бассейн (рис. 1).

Гренландские тюлени ежегодно приходят в Белое море для воспроизводства и линьки, выбирая для залёжек наиболее толстые дрейфующие льды [Дорофеев, 1939; Лукин, Васильев, 2004; Светочев, Светочева, 2018]. Ледовая обстановка в Белом море существенно различается год от года, в зависимости от характера зимы [Баклагин, 2018]. Максимальное развитие ледового покрова приходится на февраль–март и может занимать от 30% (в мягкие зимы) до 80% (в суровые зимы) от всей акватории Белого моря (рис. 2). Зимы 2023 и 2024 гг. были мягкими.

Поскольку ледовая обстановка играет ключевую роль в распределении щенков залёжек гренландских тюленей, при планировании маршрутов съёмки



Рис. 1. Гидрографические границы и районирование Белого моря [по Добровольскому, 1982]

Fig. 1. Hydrographic boundaries and parts of the White Sea [according to Dobrovolsky, 1982]

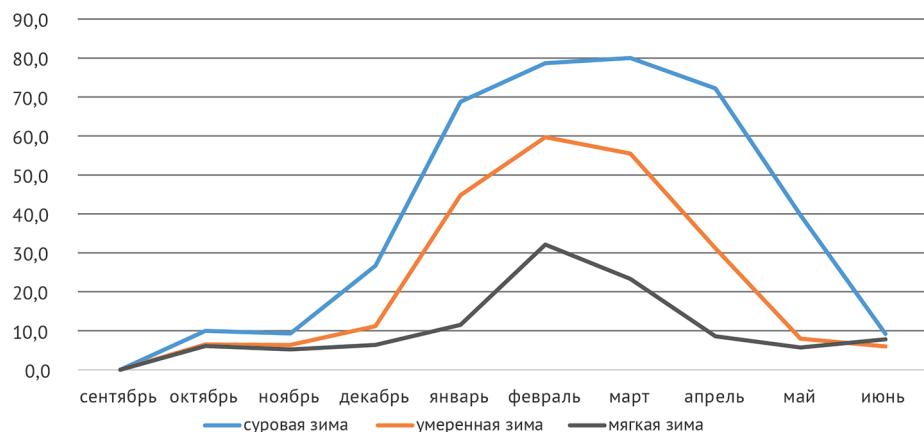


Рис. 2. Сезонные изменения площади ледового покрова Белого моря (в % от площади всей акватории), в зависимости от характера зимы<sup>1</sup>

Fig. 2. Seasonal changes in the area of ice cover of the White Sea (in % of the area of the entire water area), depending on the nature of winter<sup>1</sup>

учитывались как многолетние данные о местоположении залёжек тюленей, так и оперативная ин-

формация о ледовой обстановке. Для этого с конца февраля ежедневно анализировалась информация об ледовых условиях в Белом море по данным спутников.<sup>2</sup> Щеняные залёжки в основном образуются на

<sup>1</sup> Романюкина С.А. 2023. MS. Выпускная квалификационная работа на тему «Исследование площади льда Белого моря в зависимости от суровости зим». Санкт-Петербург: РГГМУ

<sup>2</sup> <https://worldview.earthdata.nasa.gov>

массивах дрейфующего льда в Горле и Бассейне Белого моря, где много разводьев и трещин в ледяном покрове; небольшая часть тюленей размножается на юге Воронки моря и у границы Мезенского залива [Назаренко, 1984; Лукин, 2013]. На основе оперативных данных в период исследований маршруты полётов БВС выбирались таким образом, чтобы трансекты авиаучёмы проходили надо льдами, пригодными для формирования залёжек гренландского тюленя.

При планировании исследования учитывалось, что оптимальным периодом проведения авиаучёта гренландского тюленя является период с 5 по 25 марта, так как в это время большинство самок уже родили щенков, но они ещё находятся на стадиях «белёк» и «хохлуша» и не способны находиться в воде [Лукин, Васильев, 2004; Светочев, Светочева, 2009].

Авиаучёты в 2023 и 2024 гг. выполнялись с использованием БВС двух типов – «ДИАМ-20» и «АИСТ» – методом облёта акватории трансектами, расположенными параллельно друг другу в направлении с севера на юг, на расстоянии от 2 до 5 км друг от друга. Полёты по намеченным маршрутам выполняли на высоте от 200 до 250 м в светлое время суток в дни с температурой окружающего воздуха не ниже минус 15 °C при маловетреной погоде (скорость ветра до 10 м/с) и хорошей прямой видимости (отсутствие тумана, существенных осадков и облачности ниже высоты полёта БВС). Поскольку авиаучёма должна была в сжатые сроки охватить акваторию протяжённостью выше 500 км и площадью выше 58 тыс. км<sup>2</sup>, она выполнялась двумя пилотными группами: первая группа в оба года исследований базировалась на Терском берегу Мурманской области в пос. Умба, а вторая группа располагалась на Архангельском побережье, в 2023 г. – в городе Мезень, а в 2024 г. – в селе Ручьи.

Все параметры каждого полёта (координаты, курс, высота, скорость, крен, тангаж) с фиксацией по времени автоматически сохранялись в бортовой ЭВМ БВС для дальнейшей привязки фотоматериалов. Координаты точек полёта автоматически регистрировались в формате «градусы с десятичной дробной частью», с точностью до пятого знака после запятой, например: 65,74301° с. ш.; 36,78741° в. д.

Основная задача авиаучёмных работ в период щенков заключается в одновременном определении количества щенков и половозрелых животных. Для реализации поставленной задачи была применена методика мультиспектрального авиаучёта, которая заключалась в синхронной съёмке акватории в инфракрасной (ИК) и видимой областях электромагнитного спектра. Фотоснимки видимого диапазона позволяют идентифицировать объекты авиаучёмы и докумен-

тально подтверждают достоверность распознавания на ИК-изображениях теплокровных морских млекопитающих на льдах [Черноок и др., 1999; Бизиков и др., 2021 а, б; Сидоров и др., 2023]. Для этого фотокамера видимого диапазона и тепловизионная камера были установлены совместно, соосно, в надир на борту каждого БВС. Затворы вышеуказанной аппаратуры синхронизировали по времени их срабатывания, обеспечивая совпадение центров снимков в видимой и инфракрасной частях спектра, координаты которых соответствовали координатам точек полёта БВС.

Тепловизионная (ИК) съёмка с БВС производилась с помощью тепловизионного модуля UTM-XD (диапазон фиксируемого излучения от 700 до 900 нм; разрешение 1280 × 1024 пикселей; тепловая чувствительность <35 мК, рабочая температура –40 °C ~ +60 °C, фокусное расстояние объектива 25 мм в 2023 г. и 9 мм в 2024 г.).

Фотосъёмка с БВС выполнялась с помощью цифровых фотокамер: в 2023 г. – Canon EOS 5 DSR (матрица 50 Мп, полнокадровая (36 × 24 мм), максимальное разрешение 8688 × 5792, фокусное расстояние объектива 85 мм); в 2024 г. – Sony a7RM4 (матрица 61 Мп, полнокадровая (36 × 24 мм), максимальное разрешение 9504 × 6336, фокусное расстояние объектива 50 мм).

Полоса захвата ИК-съёмки превосходила съёмку в видимом диапазоне от 10 до 20%, поэтому подсчёт особей проводили по площади, перекрываемой фотографиями видимого диапазона. Ширину (W) охвата трансект на поверхности моря рассчитывали отдельно для каждого типа оборудования, исходя из высоты полёта и фокусного расстояния объектива, по следующей формуле:

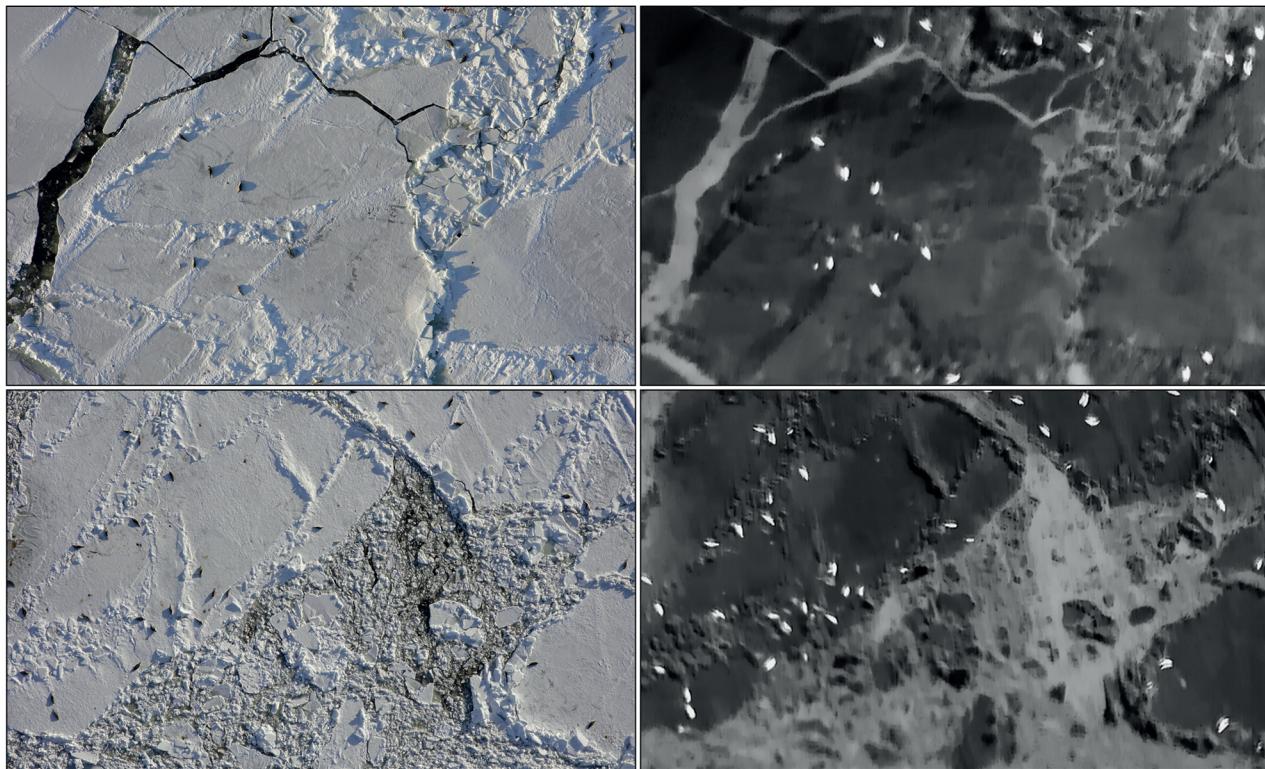
$$W = \frac{f \times H}{b}, \quad (1)$$

где:  $f$  – фокусное расстояние объектива (мм),  $b$  – ширина матрицы фотоаппарата (мм),  $H$  – высота полёта (м).

Съёмка проводилась непрерывно на протяжении всех учётных трансект, пронумерованных с запада на восток.

Обработка материалов 2023 г. проведена по следующему алгоритму. Сначала поиск тюленей проводился на ИК-изображениях. При нахождении «тёплой» точки специалист диагностировал (подтверждал) животных на синхронизированных фотографиях в видимом изображении (рис. 3).

Обработка материалов съёмки (синхронизированных пар видимых и ИК-изображений) проводилась двумя специалистами: первый осуществлял по-



**Рис. 3.** Две пары (вверху и внизу) синхронизированных фотографий в видимом диапазоне (слева) и ИК-диапазоне (справа)

**Fig. 3.** Two pairs (top and bottom) of synchronized photos in the visible range (left) and infrared (right)

иск щенков и половозрелых особей; второй, с учётом результатов первого, – корректировочный поиск для выявления незамеченных животных.

Следующий этап работ – это поиск животных на фотоматериалах авиаучётов с использованием технологии компьютерного зрения. Первоначально для этой цели из обработанного массива фотографий 2023 г. сформировали библиотеку образов (dataset) для щенков и для половозрелых особей гренландских тюленей. На основании этой библиотеки была создана модель автоматического поиска и распознавания тюленей на изображениях [Сидоров, 2025]. Обработка большого количества фотоматериалов с применением технологии компьютерного зрения превосходила ручную обработку по таким параметрам как время, затраченное на дешифровку, и точность распознавания объектов. В связи с этим, материалы авиаучёта 2024 г. были полностью обработаны в автоматическом режиме. В результате машинной обработки по каждому обнаруженному животному был составлен набор данных, включающий сведения о его расположении (географические координаты), класс объекта (половозрелая особь, щенок), имена файлов в видимом и ИК-диапазонах, на которых обнаружена данная особь, и т. п. Все эти данные были оформлены в виде электронных таблиц. Информа-

ция внесена в базу данных авиационных учётов ЦИ ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», где она доступна для повторного анализа и исследований.

На заключительном этапе обработки материалов авиаучёта 2024 г. результаты машинной обработки фото- и ИК-изображений были выборочно перепроверены вручную тремя экспертами, работавшими независимо друг от друга. Случаи расхождения в оценках анализировались всеми тремя экспертами для выяснения причин и выработка консенсусной оценки. В спорных моментах принимались минимальные значения количества идентифицированных особей [Бизиков и др., 2022 а]. На этом этапе были исключены повторные учёты отдельных особей на перекрывающихся участках смежных фотографий (из-за перекрытия зон фотофиксации).

Нанесение на карту маршрутов учётных авиаучётом, результатов обработки, изображений спутниковых ледовых карт и построения карт распределения тюленей выполнено в программной среде ГИС-приложений «QGIS 3.22».<sup>3</sup>

Оценку численности тюленей на обследованных дрейфующих льдах проводили по методу раздельной экстраполяции [Челинцев, 2004]. Этот способ яв-

<sup>3</sup> <https://www.qgis.org>

ляется универсальным, так как может работать и в тех случаях, когда длины трансект и интервалы между ними варьируют в пределах одной съёмки. Статистическая ошибка в данном методе определяется дисперсией количества (плотности распределения) животных лишь на соседних трансектах, а не на всей их совокупности. Благодаря этому, отклонение фактического положения трансект от плана съёмки при использовании этого метода не приводит к существенному смещению оценки статистической ошибки. Ранее этот метод был успешно апробирован в ходе авиаучётов популяций каспийского тюленя [Сидоров и др., 2023] и байкальской нерпы [Бизиков и др., 2022 б]. Оценку статистического смещения и стандартной ошибки (дисперсию) выполняли с использованием метода ресэмплинга (линейное приближение статистического бутстрэпа) Jackknife [Шитиков, 2012]. Для каждого элемента вычисляется среднее значение выборки без учёта данного элемента, а затем – среднее всех таких значений.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Полномасштабные авиаучёты полновозрелых особей гренландских тюленей и их приплода с использованием современных инструментальных методов авиаисыёмки в инфракрасном и оптическом диапазонах и одновременной работой нескольких БВС в 2023 и 2024 гг. выполнены впервые с 2013 г. Обследованы все дрейфующие льды, пригодные для щеных залёжек тюленей.

**Авиаучёт 2023.** В 2023 г. образование пригодного для щеных залёжек тюленей ледового покрова в Белом море началось 4 марта, и к 11 марта вся акватория моря была покрыта льдом (рис. 4). Однако, 17 марта очередной атлантический циклон принёс оттепель, вызвавшую частичное разру-

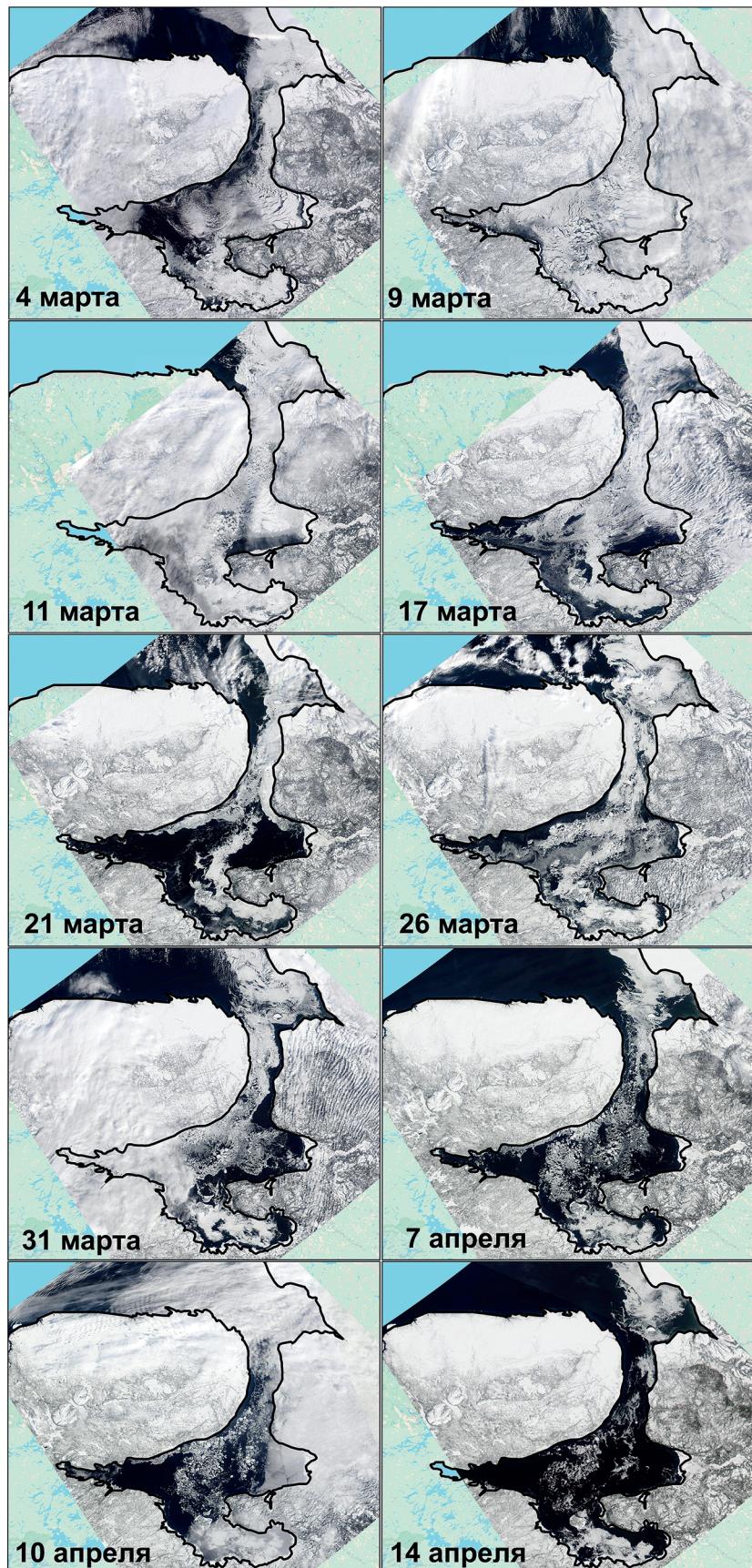
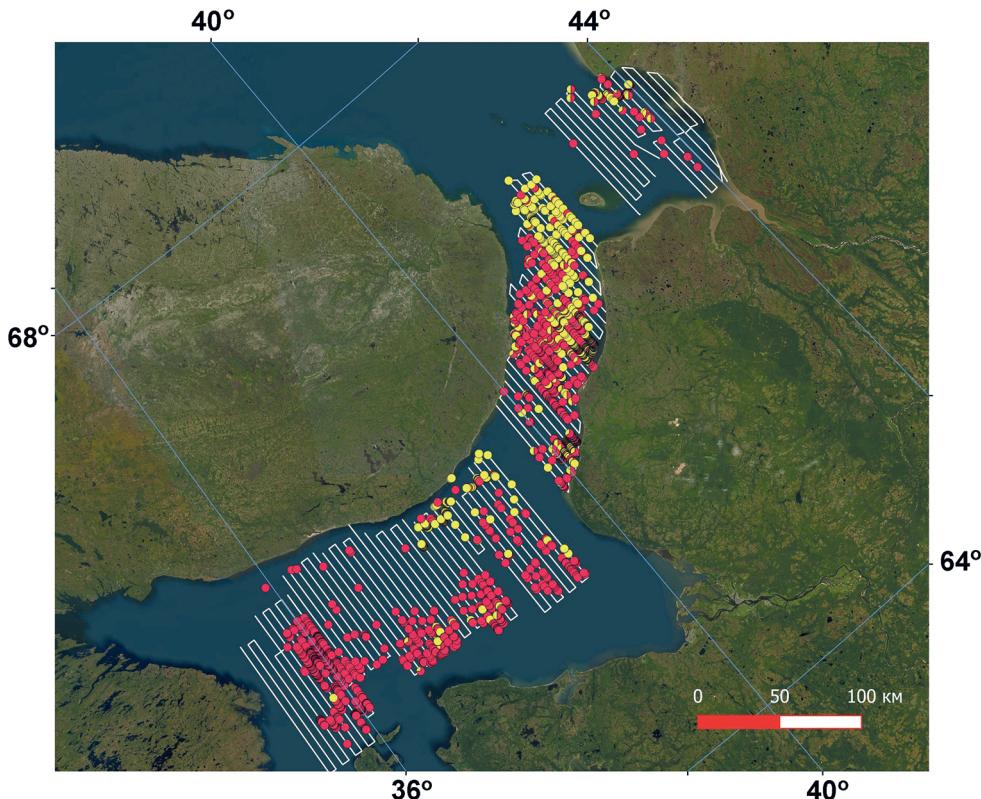


Рис. 4. Ледовая обстановка на Белом море с 4 марта по 14 апреля 2023 г. (по данным спутниковых снимков)

Fig. 4. Ice conditions in the White Sea from March 4 to April 14, 2023 (based on satellite images)



**Рис. 5.** Распределение гренландских тюленей на дрейфующих льдах Белого моря с 17 марта по 10 апреля 2023 г. (красные точки – половозрелые особи; желтые – щенки; белые линии – трансекты авиаучета в сроки: Бассейн 3.04.2023-10.04.2023; Горло 17.03.2023-6.04.2023; Воронка 18.03.2023-05.04.2023)

**Fig. 5.** Distribution of harp seals on drift ice in the White Sea from March 17 to April 10, 2023 (red dots – adults; yellow – puppies; white lines – aerial survey transects in the following periods: BASSEIN 03.04.2023-10.04.2023; GORLO 17.03.2023-6.04.2023; VORONKA 18.03.2023-05.04.2023)

шение льдов в западной и южной частях Бассейна Белого моря. В последующие дни потепление сохранялось, и к 21 марта произошло значительное разрушение ледового покрытия в центральной части Белого моря. В конце марта под действием ветров ледовые поля стали смещаться в северо-восточном направлении. К 7 апреля разрушение льдов усилилось, и в последний день съёмки (10 апреля) в районе работ отмечены только небольшие поля дрейфующего льда. К 14 апреля акватория Белого моря практически полностью освободилась от сплочённого ледового покрытия. Значительное разрушение ледового покрова в середине марта в Бассейне, вероятно, оказало неблагоприятное влияние на выживаемость щенков в сезоне 2023 г.

В 2023 г. авиаучёт проведён в период с 17 марта по 10 апреля. Он включал 89 трансектов общей протяжённостью 5127 км. Всего на фото- и ИК-снимках обнаружено 6 649 половозрелых особей и 2 580 щенков гренландского тюленя. Основное количество щенков находилось в районе Горла Белого моря, где в период съёмки существовали пригодные для щенков за-

лежек ледовые поля. Схема галсов авиаасьёмки и локации обнаруженных тюленей (половозрелых особей и щенков) представлены на рис. 5.

В Горле Белого моря было на трансектах фактически обнаружено 2 202 половозрелых особей и 1 668 щенков гренландских тюленей. Оценка общей расчётной численность гренландских тюленей на дрейфующих льдах в Горле Белого моря по методу Н.Г. Челинцева [2004] составила  $114\,007 \pm 26\,248$  половозрелых особей и  $86\,010 \pm 19\,321$  щенков (табл. 1).

Плотность распределения тюленей на трансектах в районе Горла Белого моря составила: для щенков – от 0,92 до 53,15 экз./км<sup>2</sup>; в среднем – 9,21; для половозрелых особей – от 0,49 до 99,88 экз./км<sup>2</sup>; в среднем – 12,21.

В Воронке Белого моря было на трансектах фактически обнаружено 170 щенков и 280 половозрелых особей гренландского тюленя. Оценка общей численность тюленей на дрейфующих льдах в Воронке Белого моря по методу Н.Г. Челинцева составила: половозрелых особей  $13\,012 \pm 3\,633$ ; щенков –  $7\,820 \pm 2\,639$  (табл. 2).

**Таблица 1.** Распределение по трансектам и расчётная численность гренландского тюленя на дрейфующих льдах в районе Горла Белого моря в период с 17 марта по 6 апреля 2023 г.  
 (высота полёта БВС – 250 м, ширина полосы захвата трансекты – 100 м)

**Table 1.** Distribution by transects and estimated abundance of harp seals on drifting ice in the White Sea GORLO area from March 17 to April 6, 2023 (UAV flight altitude – 250 m, transect capture width – 100 m)

№ трансекты	Показатели					Щенки		Половозрелые особи		
	Длина трансекты, км	Площадь трансекты, км <sup>2</sup>	Ширина сектора, км	Площадь сектора, км <sup>2</sup>	Количество особей	Оценка численности щенков в секторе	Плотность распределения щенков на км <sup>2</sup>	Количество особей	Оценка численности особей в секторе	Плотность распределения, особей на км <sup>2</sup>
<i>j</i>	<i>L<sub>j</sub></i>	<i>q<sub>j</sub></i>	<i>F<sub>j</sub></i>	<i>Q<sub>j</sub></i>	<i>n<sub>j</sub></i>	<i>N<sub>j</sub></i>	<i>D<sub>j</sub></i>	<i>n<sub>j</sub></i>	<i>N<sub>j</sub></i>	<i>D<sub>j</sub></i>
1	68,7	6,9	14	982,8	78	11154	11,35	127	18161	18,48
2	65,5	6,6	4,6	301,5	6	276	0,92	25	1150	3,81
3	64,8	6,5	4,6	298,3	57	2622	8,79	107	4922	16,50
4	67,6	6,8	4,6	311,2	37	1702	5,47	102	4692	15,08
5	68,5	6,8	4,6	315,0	364	16744	53,15	684	31464	99,88
6	67,2	6,7	4,6	309,0	147	6762	21,88	293	13478	43,61
7	63,1	6,3	4,6	290,4	14	644	2,22	73	3358	11,56
8	62,1	6,2	4,6	285,7	18	828	2,90	40	1840	6,44
9	57,5	5,8	4,6	264,7	20	920	3,48	51	2346	8,86
10	56,8	5,7	4,6	261,3	6	276	1,06	69	3174	12,15
11	61,7	6,2	4,6	283,6	7	322	1,14	37	1702	6,00
12	69,7	7,0	4,6	320,7	7	322	1,00	26	1196	3,73
13	72,5	7,3	4,6	333,6	15	690	2,07	34	1564	4,69
14	68,3	6,8	4,6	314,0	259	11914	37,94	81	3726	11,87
15	64,8	6,5	4,6	298,3	122	5612	18,82	108	4968	16,66
16	65,0	6,5	4,6	298,8	247	11362	38,02	111	5106	17,09
17	65,3	6,5	4,6	300,5	88	4048	13,47	87	4002	13,32
18	77,9	7,8	4,6	358,4	8	368	1,03	28	1288	3,59
19	77,9	7,8	4,6	358,2	8	368	1,03	25	1150	3,21
20	85,1	8,5	4,6	391,6	41	1886	4,82	7	322	0,82
21	77,4	7,7	4,6	356,2	64	2944	8,26	21	966	2,71
22	83,8	8,4	4,6	385,5	11	506	1,31	43	1978	5,13
23	72,7	7,3	4,6	334,5	17	782	2,34	18	828	2,48
24	65,2	6,5	4,6	299,7	14	644	2,15	2	92	0,31
25	60,8	6,1	18	1081,7	13	2314	2,14	3	534	0,49
<b>Итого</b>	<b>1710</b>	<b>171</b>	<b>138</b>	<b>9335</b>	<b>1668</b>	<b>86010</b>	<b>9,21</b>	<b>2202</b>	<b>114007</b>	<b>12,21</b>

Плотность распределения щенков на трансектах варьировала от 0 до 11,93 экз./км<sup>2</sup>; в среднем – 1,48. Плотность распределения половозрелых особей на трансектах варьировала от 0 до 15,96 экз./км<sup>2</sup>; в среднем – 2,46.

Доли щенков и половозрелых особей на щенятных залёжках изменились со временем. В начале работ, с 17 по 23 марта, на всех обследованных льдах в Горле и Воронке Белого моря половозрелые особи незначительно преобладали по численности над щен-

ками, составляя от 62 до 67 % от общей численности в скоплениях. С 26 марта по 3 апреля на дрейфующих льдах стали появляться районы, на которых преобладали либо половозрелые особи (до 80%), либо щенки (до 62,5%). В это время самки перестают кормить бельков и уходят в районы спаривания и линьки, в результате чего происходит разделение половозрелых особей и щенков.

В Бассейне Белого моря щенки тюленя встречались в основном в северо-восточной части, у Мурман-

**Таблица 2.** Распределение и расчётная численность гренландского тюленя на дрейфующих льдах в Воронке Белого моря в период с 18 по 23 марта 2023 г. (Высота полёта БВС – 250 м, ширина полосы захвата трансекты 100 м.; обозначения – как в табл. 1)

**Table 2.** Distribution and estimated abundance of harp seals on drifting ice in the White Sea VORONKA area from 18 to March 23, 2023. UAV flight altitude – 250 m, transect capture width 100 m. (designations – as in Table 1)

Показатели					Щенки			Половозрелые особи		
<i>j</i>	<i>L<sub>j</sub></i>	<i>q<sub>j</sub></i>	<i>F<sub>j</sub></i>	<i>Q<sub>j</sub></i>	<i>n<sub>j</sub></i>	<i>N<sub>j</sub></i>	<i>D<sub>j</sub></i>	<i>n<sub>j</sub></i>	<i>N<sub>j</sub></i>	<i>D<sub>j</sub></i>
1	84,3	8,4	17,8	1501,2	0	0	0,00	1	178	0,12
2	76,6	7,7	4,6	352,6	0	0	0,00	0	0	0,00
3	76,4	7,6	4,6	351,4	0	0	0,00	0	0	0,00
4	73,8	7,4	4,6	339,4	0	0	0,00	0	0	0,00
5	73,9	7,4	4,6	339,7	1	46	0,14	1	46	0,14
6	73,4	7,3	4,6	337,8	2	92	0,27	4	184	0,54
7	40,1	4,0	4,6	184,2	11	506	2,75	10	460	2,50
8	37,9	3,8	4,6	174,4	25	1150	6,59	43	1978	11,34
9	39,9	4,0	4,6	183,4	21	966	5,27	25	1150	6,27
10	45,3	4,5	4,6	208,2	54	2484	11,93	68	3128	15,02
11	45,3	4,5	4,6	208,2	18	828	3,98	41	1886	9,06
12	54,5	5,5	4,6	250,7	38	1748	6,97	87	4002	15,96
13	54,9	5,5	4,6	252,7	0	0	0,00	0	0	0,00
14	49,9	5,0	4,6	229,4	0	0	0,00	0	0	0,00
15	44,4	4,4	4,6	204,2	0	0	0,00	0	0	0,00
16	39,3	3,9	4,6	180,7	0	0	0,00	0	0	0,00
<b>Итого</b>	<b>910</b>	<b>91</b>	<b>86,8</b>	<b>5298</b>	<b>170</b>	<b>7820</b>	<b>1,48</b>	<b>280</b>	<b>13012</b>	<b>2,46</b>

ского побережья. Такое распределение щенков было обусловлено тем, что в центральной части Бассейна во время съёмки (с 3 по 10 апреля 2023 г.) ледовые поля уже начали разрушаться и дрейфовать в сторону Горла, и только у Мурманского побережья сохранились стабильные ледовые поля, на которых находились щенные залежки. Половозрелые особи в это время находились в юго-западной части Бассейна, на крупных дрейфующих льдинах, где, вероятно, происходили спаривание и линька. В местах концентраций половозрелых особей щенки встречались единично.

Всего на трансектах в Бассейне фактически обнаружено 4 167 половозрелых особей и 742 щенка гренландских тюленей. Оценка общей расчётной численности тюленей на дрейфующих льдах в Бассейне, по методу Н.Г. Челинцева составила: половозрелых особей –  $76\,464 \pm 393$ ; щенков –  $13\,802 \pm 8\,638$  (табл. 3).

Плотность распределения тюленей на трансектах в Бассейне варьировала: для щенков – от 0 до 9,35 экз./км<sup>2</sup>; в среднем – 0,79; для половозрелых особей – от 0,04 до 31,90 экз./км<sup>2</sup>; в среднем – 4,35.

С 3 по 10 апреля доля половозрелых особей на дрейфующих льдах в Бассейне составляла в среднем 81% (от 45,5% до 100% в скоплениях), что соответ-

ствовало формированию на дрейфующих льдинах линных залёжек половозрелых самок и самцов. Щенки к этому времени встречались только у западной границы Горла Белого моря.

Следует отметить, что в Бассейне авиаучёт 2023 г. проходил в период, когда ледовые поля, пригодные для развития щенков, продержались менее двух недель при необходимом сроке от 4 до 6 недель. Вероятно, такая неблагоприятная ледовая обстановка повлияла на массовую гибель приплода. На высокий уровень смертности щенков косвенно указывает их низкая доля относительно всех обнаруженных особей на льдах в Бассейне – 15,3%, по сравнению с другими обследованными районами: в Горле доля щенков составила – 43,0%; в Воронке – 37,5%; в среднем – 40,3%. В связи с этим, была сделана оценка количества щенков, родившихся в Бассейне, с учётом соотношения их средней доли. Эта расчётная величина составила 30 815, вместо 13 802 фактически учтённых щенков.

Таким образом, общая расчётная численность животных на дрейфующих льдах по всему Белому морю по результатам обработки авиаучёта 2023 г. составила: половозрелых особей –  $203\,483 \pm 25\,255$ ; щенков –  $124\,645 \pm 20\,774$ .

**Таблица 3.** Распределение и расчётная численность гренландского тюленя на дрейфующих льдах в Бассейне Белого моря в период с 3 по 10 апреля 2023 г. Высота полёта БВС – 250 м, ширина полосы захвата трансекты 255 м (обозначения – как в табл. 1)

**Table 3.** Distribution and estimated abundance of harp seals on drifting ice in the White Sea BASSEIN area from 3 to April 10, 2023. UAV flight altitude – 250 m, transect capture width 255 m. (designations – as in Table 1)

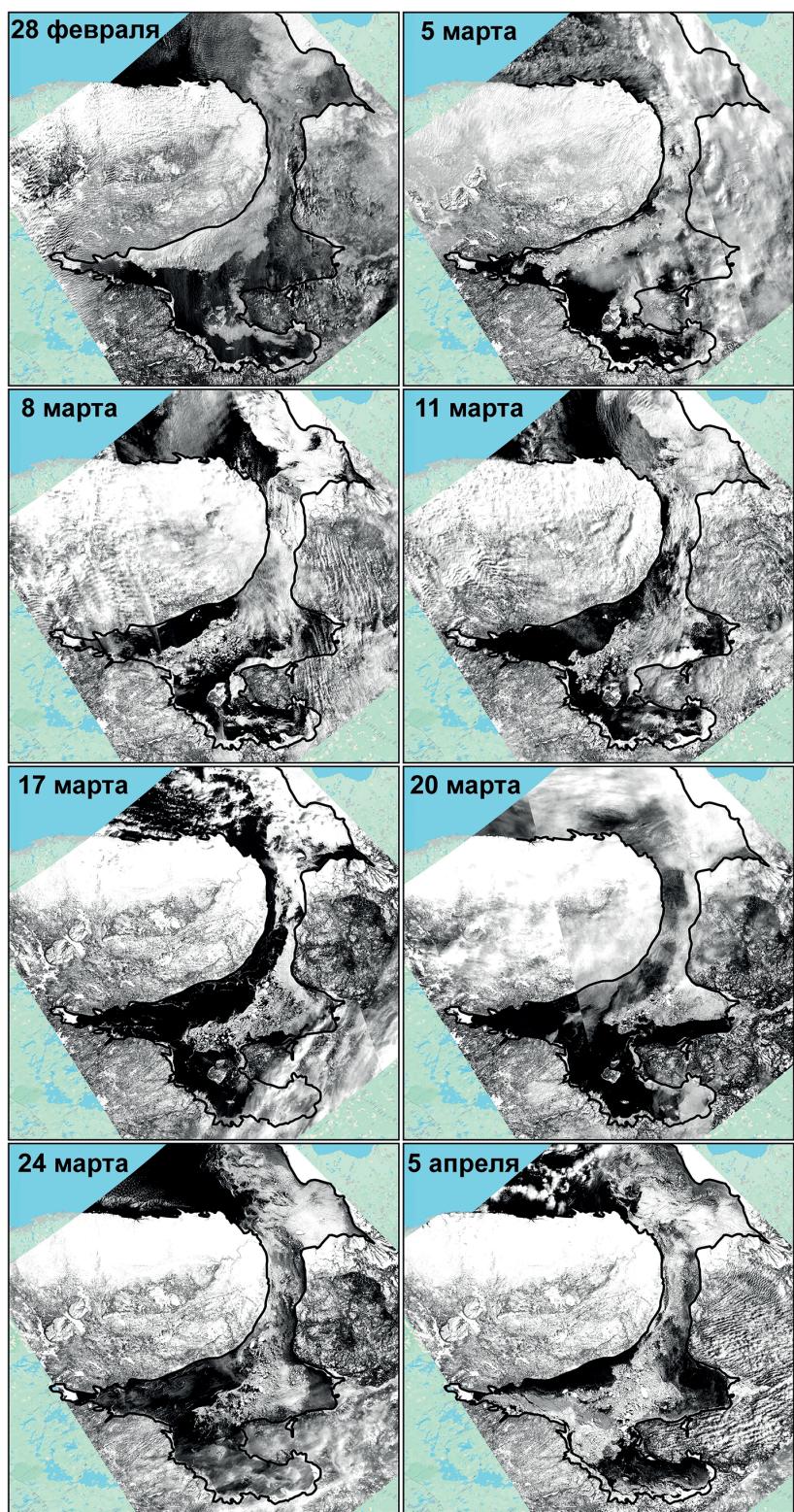
Показатели					Щенки			Половозрелые особи		
<i>j</i>	<i>L<sub>j</sub></i>	<i>q<sub>j</sub></i>	<i>F<sub>j</sub></i>	<i>Q<sub>j</sub></i>	<i>n<sub>j</sub></i>	<i>N<sub>j</sub></i>	<i>D<sub>j</sub></i>	<i>n<sub>j</sub></i>	<i>N<sub>j</sub></i>	<i>D<sub>j</sub></i>
1	93,3	23,8	4,6	429,2	0	0	0,00	1	18	0,04
2	93,1	23,7	4,6	428,4	0	0	0,00	0	0	0,00
3	93,1	23,7	4,6	428,3	0	0	0,00	1	18	0,04
4	77,9	19,9	4,6	358,5	0	0	0,00	274	4943	13,79
5	104,6	26,7	4,6	481,0	1	18	0,04	117	2111	4,39
6	103,8	26,5	4,6	477,4	1	18	0,04	177	3193	6,69
7	103,7	26,4	4,6	477,0	0	0	0,00	123	2219	4,65
8	103,5	26,4	4,6	476,2	0	0	0,00	842	15189	31,90
9	89,1	22,7	4,6	409,8	0	0	0,00	483	8713	21,26
10	88,9	22,7	4,6	408,9	0	0	0,00	594	10715	26,21
11	77,8	19,8	4,6	357,9	0	0	0,00	38	685	1,92
12	77,8	19,8	4,6	357,9	0	0	0,00	18	325	0,91
13	78,0	19,9	4,6	358,9	0	0	0,00	31	559	1,56
14	77,8	19,8	4,6	357,9	0	0	0,00	14	253	0,71
15	77,8	19,8	4,6	358,0	0	0	0,00	26	469	1,31
16	78,0	19,9	4,6	358,8	1	18	0,05	14	253	0,70
17	93,0	23,7	4,6	427,6	0	0	0,00	29	523	1,22
18	93,2	23,8	4,6	428,6	8	144	0,34	42	758	1,77
19	93,0	23,7	4,6	428,0	1	18	0,04	82	1479	3,46
20	90,7	23,1	4,6	417,4	2	36	0,09	84	1515	3,63
21	90,6	23,1	4,6	416,5	4	72	0,17	118	2129	5,11
22	90,0	23,0	4,6	414,1	10	180	0,44	120	2165	5,23
23	88,2	22,5	4,6	405,6	6	108	0,27	96	1732	4,27
24	82,8	21,1	4,6	380,8	0	0	0,00	50	902	2,37
25	82,4	21,0	4,6	378,9	1	18	0,05	34	613	1,62
26	79,9	20,4	4,6	367,7	1	18	0,05	5	90	0,25
27	80,2	20,4	4,6	368,9	2	36	0,10	27	487	1,32
28	80,0	20,4	4,6	368,1	174	3139	8,53	37	667	1,81
29	83,5	21,3	4,6	384,3	5	90	0,23	130	2345	6,10
30	83,5	21,3	4,6	384,3	98	1768	4,60	95	1714	4,46
31	83,1	21,2	4,6	382,1	24	433	1,13	77	1389	3,63
32	83,6	21,3	4,6	384,5	100	1804	4,69	92	1660	4,32
33	39,4	10,1	4,6	181,4	94	1696	9,35	6	108	0,60
34	39,5	10,1	4,6	181,5	4	72	0,40	2	36	0,20
35	86,9	22,1	4,6	399,5	6	108	0,27	27	487	1,22
36	86,7	22,1	4,6	398,6	4	72	0,18	59	1064	2,67
37	86,6	22,1	4,6	398,3	3	54	0,14	21	379	0,95
38	86,7	22,1	4,6	398,8	2	36	0,09	40	722	1,81
39	97,9	25,0	4,6	450,5	118	2129	4,72	23	415	0,92
40	97,9	25,0	4,6	450,4	37	667	1,48	9	162	0,36
41	97,9	25,0	4,6	450,4	24	433	0,96	75	1353	3,00
42	97,8	24,9	14,3	1399,1	11	617	0,44	34	1907	1,36
<b>Итого</b>	<b>3613</b>	<b>921</b>	<b>203</b>	<b>17570</b>	<b>742</b>	<b>13802</b>	<b>0,79</b>	<b>4167</b>	<b>76464</b>	<b>4,35</b>

**Авиаучёт 2024.** В конце февраля 2024 г., по данным дистанционного мониторинга, пригодный для размножения самок гренландского тюленя ледовый массив в Белом море располагался вдоль Мурманского побережья (рис. 6). С 3 марта под действием северных ветров этот ледовый массив начал дрейфовать в центральную часть Белого моря. Начиная с 10 марта ветер под действием антициклона стал усиливаться, постепенно меняя направление на северо-восточное. С этого времени лёд в Белом море стал смещаться от Терского берега к Архангельскому и к Горлу Белого моря. Во второй декаде марта практически весь сплошной лёд находился у побережья Архангельской области, ближе к юго-западной части Горла. В третьей декаде марта под действием северо-восточных ветров ледовый массив начал дрейфовать в западном направлении к побережью Карелии. В Бассейне благоприятная для размножения тюленей ледовая обстановка сохранялась с 28 февраля по 5 апреля, тогда как в Горле Белого моря льды быстро дрейфовали, и в отдельные дни значительная часть акватории оказывалась вообще свободной от льда. В этом районе условия для образования щенков были неблагоприятными.

Авиаучёт гренландского тюленя в 2024 г. был проведён в оптимальные сроки в период с 3 по 25 марта. За весь период исследований выполнено свыше 100 трансект, общая протяжённость которых составила 10 311 км. На полученных фотоснимках было идентифицировано 4 832 половозрелые особи и 4 216 щенков.

Горло Белого моря обследовано в период с 8 по 14 марта. Было выполнено 67 трансект, общая протяжённость которых составила 4 762 км. Часть акватории была обследована дважды с учётом изменившейся ледовой обстановки. Всего фактически обнаружено восемь половозрелых особей и один щенок.

Воронка Белого моря была обследована в период с 19 по 21 марта. Было выполнено 28 трансект общевой протяжённостью 1 914 км. Всего обнаружено 7 щенков и 26 половозрелых особей гренландского тюленя.



**Рис. 6.** Ледовая обстановка на Белом море в период с 28 февраля по 5 апреля 2024 г. (по данным спутниковых снимков)

**Fig. 6.** Ice conditions in the White Sea from February 28 to April 5, 2024 (based on satellite images)

Район Бассейна Белого моря был обследован в период с 3 по 25 марта. Было выполнено 57 трансект общей протяжённостью 3 635 км. В западной части Бассейна на дрейфующих льдах гренландских тюленей обнаружено не было, но были отмечены 43 особи кольчатой нерпы *Pusa hispida* (Schreber, 1775), из которых 11 были со щенками, тогда как в восточной части Бассейна на ледовом массиве была зафиксирована большая щенная залёжка гренландского тюленя (рис. 7).

Для расчёта численности щенков и половозрелых особей гренландских тюленей на этом ледовом массиве использовали данные авиаучётов с 21 по 25 марта, когда трансекты полётов проходили над залёжками тюленей. Для анализа и оценки численности животных на льду был выбран спутниковый снимок от 24 марта 2024 года, поскольку в этот день вся область льда, пригодного для воспроизведения тюленей, была отчётливо видна на спутниковой фотографии. На основе этого снимка по границе ледового массива и свободной поверхности моря были определены северная и южная границы контура площади экстраполяции. В качестве западной и восточной границ были выбраны крайние трансекты авиаасьёмки. На эту площадь экстраполяции были наложены линии, продолжающие маршруты трансект на север и на юг, до границ контура экстраполяции. Таким образом, была создана расчёчная область,

состоящая из 32 линий, пронумерованных с запада на восток, охватывающая все дрейфующие льды, пригодные для залёжек тюленей (рис. 8). Расстояние между линиями расчётной области соответствовало расстоянию между соответствующими трансектами: 4,7 км между первыми 10 линиями; 3,5 км – между 10-й и 11-й линиями; 2,5 км – между 11-й и 32-й линиями.

Для экстраполяции по длине линии расчётной области использовались данные трансект полётов, совпадающих по расположению. Для этого определялась средняя плотность населения особей и умножалась на длину трансекты.

Для линий с 9 по 14, над которыми авиаучёт не проводился, средняя плотность распределения тюленей была рассчитана следующим образом: по фактическим данным были построены графики распределения плотностей щенков и половозрелых особей гренландского тюленя на линиях расчётной области и выявлены закономерности возрастания плотности распределения с запада на восток, аппроксимируемые кубическими функциями вида  $y = Ax^3 + Bx^2 + Cx + K$ . Параметры уравнений тренда были рассчитаны для распределения половозрелых особей и щенков и по ним восстановлены значения плотностей распределения тюленей для линий с отсутствующими данными (рис. 9).

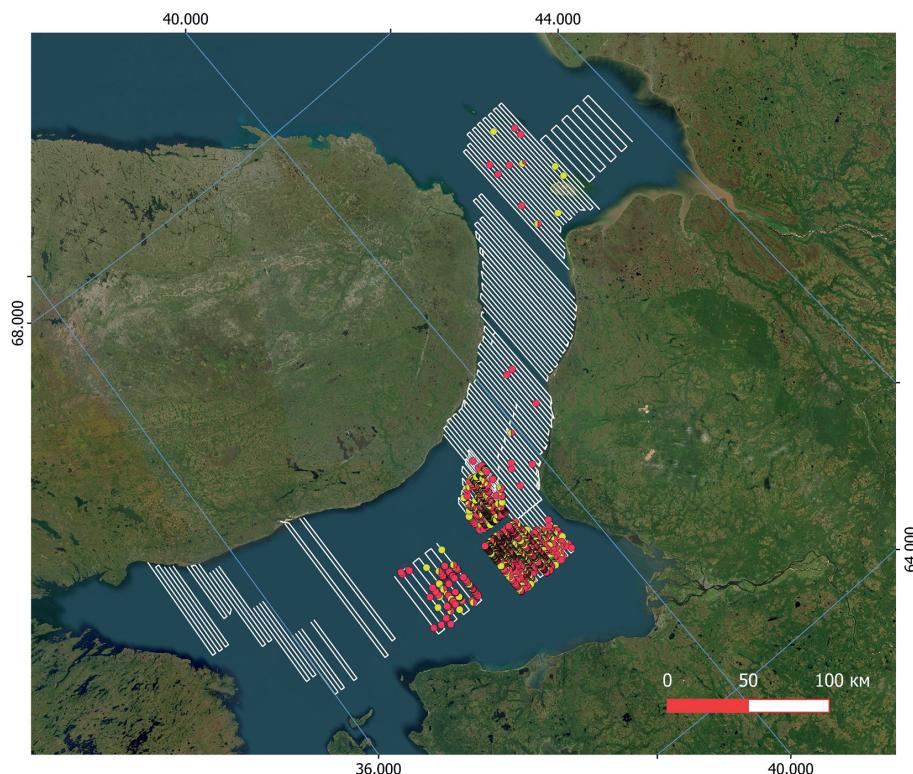
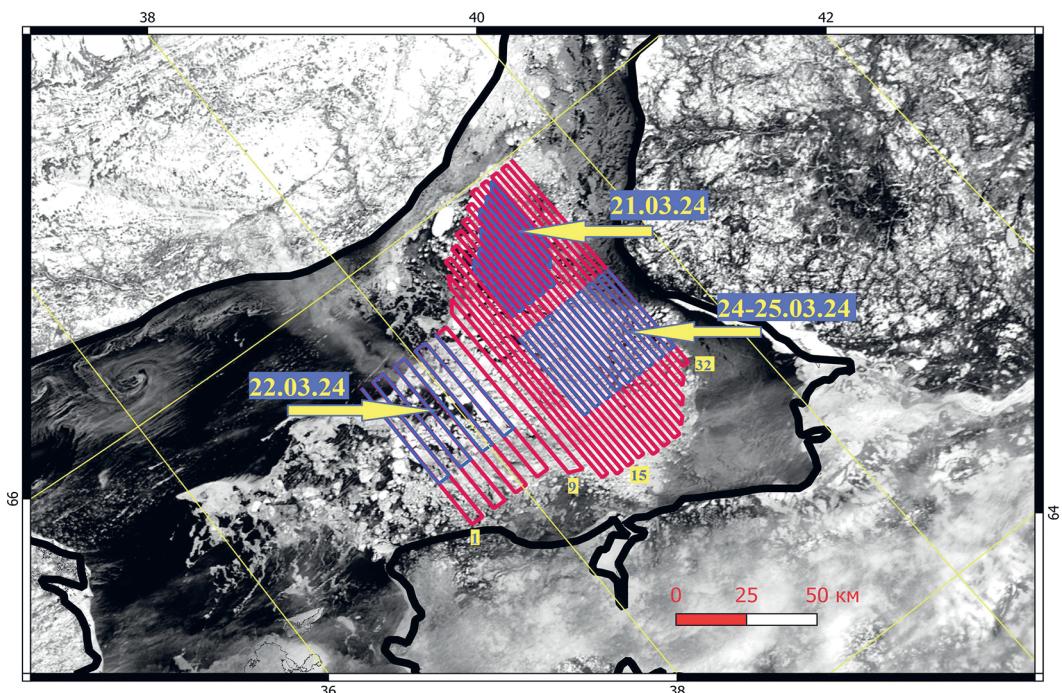


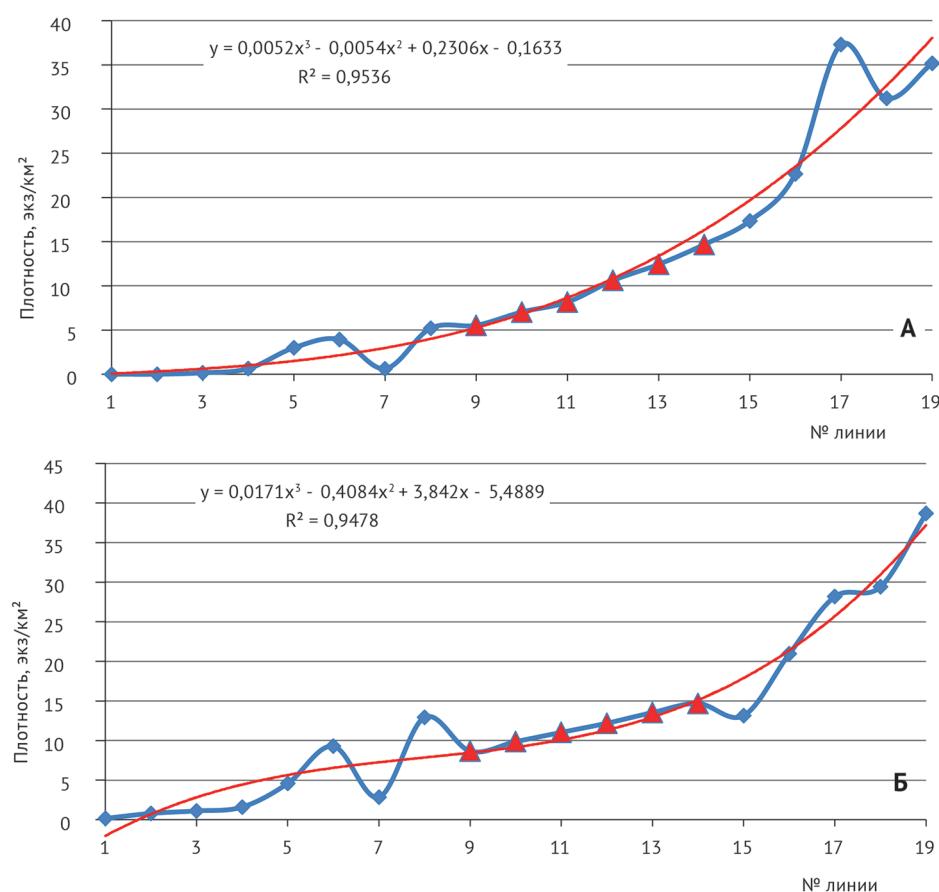
Рис. 7. Распределение щенков и половозрелых особей на дрейфующих льдах Белого моря с 3 по 25 марта 2024 г.

Fig. 7. Distribution of pups and adults on drift ice of the White Sea from March 3 to March 25, 2024



**Рис. 8.** Карта схема расчётной области ледового массива в Бассейне Белого моря. Красные полосы – расчётная область из 32 линий, пронумерованных с запада на восток, стрелками показаны синие полосы – трансекты авиаучётов с 21 по 25 марта 2024 г.

**Fig. 8.** Map of the calculated area of the ice massif in the White Sea BASSEIN area. Red stripes – the calculated area of 32 lines, numbered from west to east, arrows show blue stripes – transects of aerial surveys from March 21 to 25, 2024



**Рис. 9.** Плотность населения щенков (А) и половозрелых особей (Б) на первых 19 линиях расчётной области (синие точки – фактические данные, красные треугольники – восстановленные значения)

**Fig. 9.** Population density of puppies (A) and adults (B) on the first 19 lines of the calculation area (blue dots – actual data, red triangles – reconstructed values)

**Таблица 4.** Распределение и расчётная численность гренландского тюленя на дрейфующих льдах в Бассейне Белого моря в марте 2024 г. Высота полёта БВС – 200 м, ширина полосы захвата линии расчётной области 143 м (обозначения – как в табл. 1)

**Table 4.** Distribution and estimated abundance of harp seals on drift ice in the White Sea BASSEIN area in March 2024. UAV flight altitude is 200 m, the width of the capture strip of the estimated area line is 143 m (designations are as in Table 1)

<i>J</i> *	<i>L<sub>j</sub></i>	<i>q<sub>j</sub></i>	<i>F<sub>j</sub></i>	<i>Q<sub>j</sub></i>	<b>Щенки</b>			<b>Половозрелые особи</b>		
					<i>n<sub>j</sub></i>	<i>N<sub>j</sub></i>	<i>D<sub>j</sub></i>	<i>n<sub>j</sub></i>	<i>N<sub>j</sub></i>	<i>D<sub>j</sub></i>
1	63,8	9,12	4,7	299,6	0	0	0,0	1	47	0,2
2	63,8	9,12	4,7	299,8	0	0	0,0	7	236	0,8
3	63,8	9,12	4,7	299,8	1	47	0,2	10	331	1,1
4	63,7	9,11	4,7	299,3	6	190	0,6	14	475	1,6
5	63,7	9,11	4,7	299,3	27	896	3,0	42	1367	4,6
6	63,8	9,12	4,7	299,8	36	1179	3,9	85	2783	9,3
7	63,7	9,11	4,7	299,5	6	188	0,6	26	848	2,8
8	63,9	9,13	4,7	300,2	47	1561	5,2	118	3878	12,9
9	69,4	9,93	4,7	326,3	55	1808	5,5	86	2827	8,7
10	74,5	10,65	3,5	305,5	75	2150	7,0	105	3010	9,9
11	85,6	12,24	2,5	256,9	100	2098	8,2	135	2832	11,0
12	89,0	12,72	2,5	222,4	135	2360	10,6	155	2710	12,2
13	95,6	13,67	2,5	239,1	170	2972	12,4	185	3234	13,5
14	100,1	14,31	2,5	250,2	210	3671	14,7	210	3671	14,7
15	100,1	14,31	2,5	250,2	248	4339	17,3	188	3290	13,1
16	102,3	14,63	2,5	255,7	332	5798	22,7	306	5356	20,9
17	102,3	14,63	2,5	255,7	545	9535	37,3	412	7205	28,2
18	105,6	15,11	2,5	264,1	472	8244	31,2	444	7771	29,4
19	107,9	15,42	2,5	269,6	542	9484	35,2	596	10424	38,7
20	110,1	15,74	2,5	275,2	518	9048	32,9	552	9647	35,1
21	110,1	15,74	2,5	275,2	934	16327	59,3	1123	19627	71,3
22	113,4	16,22	2,5	283,5	878	15343	54,1	892	15599	55,0
23	113,4	16,22	2,5	283,5	551	9641	34,0	695	12145	42,8
24	116,8	16,70	2,5	291,9	639	11174	38,3	873	15267	52,3
25	114,5	16,38	2,5	286,3	643	11246	39,3	802	14017	49,0
26	112,3	16,06	2,5	280,8	382	6685	23,8	461	8065	28,7
27	109,0	15,58	2,5	272,4	85	1479	5,4	100	1753	6,4
28	106,7	15,26	2,5	266,9	70	1220	4,6	104	1817	6,8
29	103,4	14,79	2,5	258,5	61	1074	4,2	53	927	3,6
30	101,2	14,47	2,5	253,0	71	1242	4,9	71	1242	4,9
31	97,9	13,99	2,5	244,6	13	231	0,9	34	600	2,5
32	97,9	13,99	2,5	244,6	26	462	1,9	34	600	2,5
<b>Итого</b>	<b>2949</b>	<b>422</b>	<b>101</b>	<b>8809</b>	<b>7878</b>	<b>141692</b>	<b>16,1</b>	<b>8919</b>	<b>153601</b>	<b>18,6</b>

Примечание: \* – Порядковый номер линии расчётной области.

Плотность распределения щенков на линиях расчётной области варьировала от 0 до 59,3 экз./км<sup>2</sup>; в среднем – 16,2; плотность распределения половозрелых особей – от 0,2 до 71,3 экз./км<sup>2</sup>; в среднем – 18,6 (табл. 4).

В Бассейне Белого моря было на трансектах фактически обнаружено 8919 половозрелых особей

и 7878 щенков гренландских тюленей. Общая расчётная численность гренландских тюленей на дрейфующих льдах в Бассейне, по методу Н.Г. Челинцева, составила 153 601±10 767 половозрелых особей и 141 692±8 696 щенков. Поскольку в Горле и в Воронке половозрелые особи и щенки встречались единично, то эти районы были исключены из расчётов общей

численности тюленей. Итоговая минимальная оценка общей численности приплода в Белом море соответствовала численности приплода в пределах расчётной области в Бассейне.

Соотношение щенков и половозрелых особей на льдах в Бассейне в пределах расчётной области изменялось в широтном направлении: в западной части района преобладали половозрелые особи, составлявшие на отдельных линиях выше 80%; в центральной и восточной частях района залёжек соотношение половозрелых особей и щенков было примерно равным либо щенки численно преобладали: до 60% общей численности на отдельных линиях (рис. 10).

Примерно равное соотношение щенков и половозрелых особей в центральной части Бассейна в 2024 г. было обусловлено тем, что в период авиаучёта самки ещё продолжали молочное вскармливание потомства и находились рядом со щенками (рис. 11). В 2023 году, когда основная масса щенков находилась в районе Горла Белого моря, молочное вскармливание в основном закончилось к 21 марта, а в 2024 году в Бассейне оно продолжалось до 25 марта.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Приуроченность воспроизводства и молочного вскармливания щенков гренландского тюленя к ле-

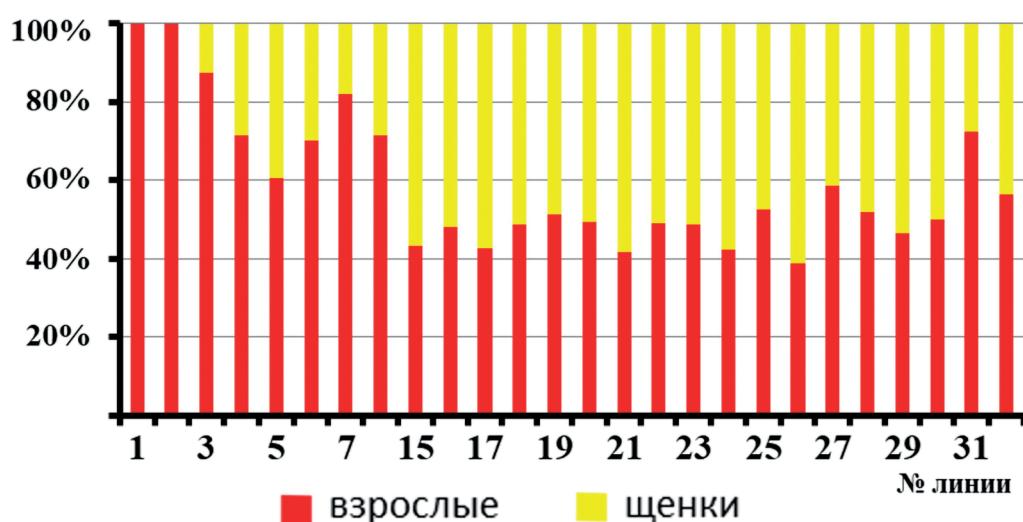


Рис. 10. Соотношение половозрелых особей и щенков гренландского тюленя в пределах ледового массива в Бассейне Белого моря в период с 21 по 25 марта 2024 г. (учётные линии пронумерованы, как показано на рис. 8)

Fig. 10. The ratio of adult and pup harp seals within the ice massif in the White Sea BASSEIN area during the period from 21 to 25 March 2024 (counting lines are numbered as shown in Fig. 8)



Рис. 11. Кормление самками бельков на льдах в Бассейне Белого моря в марте 2024 г.

Fig. 11. Females feeding pups on ice in the White Sea BASSEIN area in March 2024

дяным полям обуславливает решающую роль ледового режима конкретного года в успешности воспроизводства этого вида в Белом море [Дорофеев, 1960; Stenson et al., 2020]. Ледовые условия в районах щененных залёжек гренландских тюленей должны обеспечивать наибольшие шансы для выживания потомства: новорождённым щенкам гренландского тюленя в первые 4-5 недель их жизни необходим устойчивый лёд, на котором проходит молочное вскармливание (2-3 недели) и линька (1,5-2 недели), и только после окончания линьки первичного волосяного покрова щенки гренландского тюленя, перейдя на стадию серки, приобретают физиологическую способность к плаванию и нырянию [Светочев, Светочева, 2009; Sergeant 1991; Stenson, Hammill, 2014]. Оптимальными для формирования щененных залёжек гренландского тюленя в Белом море являются толстые однолетние льды с заснеженной сухой поверхностью и достаточно густой сетью разводьев, расположенные в глубине массива ледовых полей и дрейфующие из района воспроизводства в Бассейне или Горле Белого моря к кромке льдов в Баренцевом море, где перелинявшие щенки смогут перейти к самостоятельному образу жизни [Чапский, 1965; Лукин, 2013; Светочев, Светочева, 2018]. Раннее таяние недостаточно толстых льдов в тёплые зимы, интенсивное торошение в шторма, вынос ледовых полей со щенками в аномальном западном направлении в Баренцево море может приводить к массовой смертности щенков. По мнению Л.А. Попова [1971 б], общий уровень смертности щенков гренландского тюленя в Белом море в обычные годы составляет 3-4,5%.

Весной 2023 г. более половины площади ледовых полей в Бассейне распалось в период с 9 по 21 марта, что привело, вероятно, к высокой смертности щенков в этот период. Для Горла и Воронки ситуация в этот период была более благоприятной, т. к. необходимая для развития щенков ледовая обстановка сохранялась на протяжении более 4 недель (с 4 марта по 7 апреля). По результатам обработки данных авиаучёта численность щенков составила  $124\,645 \pm 20\,774$ . Поскольку авиаучёт в 2023 г. был выполнен не в оптимальный период, в конце марта – начале апреля, когда часть щенков могла уже находиться в воде, возможен недоучёт приплода. С другой стороны, сравнение доли щенков в залёжках тюленей в Бассейне, Горле и Воронке Белого моря позволяет косвенно судить о том, что их смертность в Бассейне была высока.

В 2024 г. в Бассейне Белого моря благоприятная для развития щенков ледовая обстановка сохранилась с 28 марта по 5 апреля. Тогда как в районе Горло отмечена высокая скорость дрейфа льдов, приводя-

щая в некоторые дни к большим зонам чистой воды – без льда. Основная щенная залёжка находилась в восточной части района Бассейн, в других районах отмечены только единичные особи. По результатам обработки численность щенков составила  $141\,692 \pm 8\,696$  ( $CV = 3,4\%$ ). Следует отметить, что авиаучёт выполнен в оптимальный период с 5 по 25 марта. В эти сроки практически все щенки должны были находиться на льду.

Ледовая обстановка совместно с ветровым режимом в весенний период определяют распределение щенков на дрейфующих льдинах в акватории Белого моря. Совокупность этих факторов влияет на развитие и выживаемость приплода. Даже в годы с большой ледовитостью моря щенные залёжки, сформированные в восточной части Бассейна, могут под действием восточного ветра выноситься в западные районы Баренцева моря, где без достаточного питания часть щенков погибает [Лукин, 2013]. Аналогичная ситуация могла сложиться и в 2024 году. В конце марта – начале апреля дрейфующий массив льда в районе Бассейн под действием ветра сместился в западном направлении. Впоследствии отмечалась гибель молодых особей на побережье Белого моря на Терском берегу Мурманской области, а также в Архангельской области. Биологи-охотоведы национального парка «Онежское Поморье» осмотрели животных и заключили, что особи были выброшены штормом на побережье в результате естественных процессов и направления ветров.<sup>4</sup> Аналогичное заключение сделано сотрудниками Комитета по ветеринарии Мурманской области.<sup>5</sup> Наиболее распространёнными причинами смертности потомства являются неблагополучные роды, задавливание льдами, замерзание и гибель от истощения [Лукин, Васильев, 2004].

Динамика воспроизводства с 1955 по 2024 гг. по результатам авиаучёта варьировала от 65 тыс. экз. в 1963 году до 340 тыс. экз. в 2000 году (рис. 12). Низкие значения связаны с влиянием интенсивного промысла [Назаренко, 1984], тогда как очень высокие, вероятно, с методологическими ошибками [Огнетов, 2008].

В 1998 г. был применён новый мультиспектральный метод учёта щенков гренландского тюленя на льдах в Белом море, который заключался в одновременной съёмке учётной полосы 500-600 метров фотокамерой и тепловизором [Черноок, 2009]. Затем на учётной полосе считали общее количество «тёплых»

<sup>4</sup> <https://www.echosevera.ru/2024/06/13/666a946dde0369e98b079834.html>

<sup>5</sup> <https://murman.tv/news-n-23453-prichina-gibeli-tyulenej-v-terskom-rajone-stala-izvestna>



**Рис. 12.** Изменение численности пополнения по данным авиаисследований и динамика промысла ГТБП с 1955 по 2024 гг. [по данным: Назаренко, 1984; Черноок и др., 1999; Шафиков, 2015; ICES. 2023; собственные данные]

**Fig. 12.** Changes in the abundance of pup production based on aerial surveys and the dynamics of the White Sea harp seal population sealing from 1955 to 2024 [based on data from: Nazarenko, 1984; Chernook et al., 1999; Shafikov, 2015; ICES. 2023; own data]

пятен (взрослых особей) и далее по соотношению щенки/взрослые, определённому на фотографиях видимого диапазона и с учётом корректирующего коэффициента недоучёта 1,34 [Черноок и др., 2000], рассчитывали численность пополнения гренландского тюленя. К итоговому значению прибавляли количество щенков, добытых во время промысла в год авиаучёта. Однако результаты этого авиаучёта впоследствии неоднократно менялись вследствие изменения методик расчёта. Первоначально численность щенков по данным авиаучёта в 1998 году оценивалась в 381 тыс. экз. [Черноок и др., 1999], затем она уменьшилась до 364 тыс. экз. [Черноок и др., 2000], а конечное значение составило 287 тыс. экз. [Шафиков и др., 2006; Черноок, Болтнев, 2008]. Разница между первоначальной и конечной оценками составляет почти 100 тыс. экз. Как отмечали сами разработчики этой методики В.И. Черноок и Н.В. Кузнецова [2000], недостатком методики была невысокая разрешающая способность тепловизора и «наличие» ложных целей – тепловых пятен и помех, возникающих по различным причинам: длительного нахождения животных на одном месте, нагревания грязи на солнце, особенности работы тепловизора, учитывающего относительные перепады температур (при определённой температуре воздуха перепад вода-лёд имел одинаковый контраст по отношению животное-лёд). Завышение численности приплода связано было с неправильным определением соотношения щенки/взрослые на

уровне 0,4 [Черноок и др., 1999]. По результатам исследований 2023 и 2024 гг. это соотношение в период щенки близко к 1; оно незначительно смещается в большую или иную сторону только по окончании периода лактации, когда самки покидают щенков.

Таким образом, высокие оценки численности пополнения гренландского тюленя в период с 1998 года по 2004 год вызывают сомнения. По мнению Г.Н. Огнёнова [2008], в этот отрезок времени присутствовала необъективность оценки результатов авиаисследований из-за меняющегося характера распределения животных в районе обитания. Действительно, трёхкратное уменьшение численности щенков не поддавалось адекватному описанию модельными расчётами [Шафиков 2012], при отсутствии эпизоотии и эмиграций на сопредельные акватории [Гайденок и др., 2012 а]. Основной причиной сокращения численности приплода называли резкое снижение кормовой базы [Черноок, Болтнев, 2008]. Другую причину сокращения маточного поголовья связывали с изменениями, происходящими в репродуктивной стратегии самок, а именно: затуханием физической активности в возрасте 23-25 лет, растигнутостью вступления в размножение и отдых после нескольких щенков [Назаренко, 1990]. Скорее всего, вышеперечисленные факторы являются сдерживающими, но не приводящими к катастрофическому снижению количества новорождённых в 2,7 раза. Такие темпы уменьшения маточного поголовья привели бы через 4–5 лет воспроизводящей

части популяции к исчезновению [Лукин, Огнетов, 2011]. Поэтому Н.Д. Гайденоком с соавторами [2012] б) после подведения итогов, полученных на основе системно статистического анализа, было рекомендовано данные авиаучётов за период 1998–2004 гг. в оригинальном виде (абсолютные значения) не использовать при проведении исследований.

После введения запрета на добычу половозрелых самок на щеных залёжках с 1969 г. был отмечен рост численности приплода гренландского тюленя, который к 1980 году достиг уровня 138,5 тыс. Российские авиаучётные исследования половозрелых самок в местах щенения показали, что этот уровень сохранился до 1991 года, а ежегодное пополнение составляло около 140 000 особей [Potelov et al., 2003], при продолжающемся промысле щенков. После введения запрета на промысел бельков, в 2009 году и 2010 году, ежегодный приплод вырос до 157–163 тыс. экз., но затем в 2013 году он снизился до 129 тыс. [Шафиков, 2015]. По данным авиаучётов 2023 и 2024 гг. оценка пополнения составляла от 124,6 до 141,7 тыс. соответственно. С 2005 г. по настоящее время численность пополнения варьировала от 122 до 163 тыс. при среднем значении  $137,2 \pm 10,5$  тыс.

На основе проведённого анализа можно заключить, что колебание численности пополнения в меньшую или большую сторону связано с многими факторами, основными из которых являются: весенняя ледовая обстановка в Белом море в период щенения самок; состояние кормовой базы в период нагула. Следует отметить, что при отсутствии зверобойного промысла на тюленей происходит старение популяции (возраст самок на щеных залёжках достигает 38+) и увеличение возраста впервые овулирующих самок с 4–5 до 7–8 лет [Светочев, Светочева, 2018; Haug, Biuw, 2023]. Старые самки не способны ежегодно приносить потомство, а молодым не хватает ресурсов для первого появления на щеных залёжках. В итоге формируется иерархическая структура популяций, при которой в размножении участвуют преимущественно доминирующие особи. Такое снижение интенсивности размножения и изменения сроков наступления половой зрелости, по-видимому, являются ответом популяции гренландского тюленя на достижение ею предельной численности при современном уровне трофической конкуренции с другими тюленями Белого моря, конкуренции за рыбные ресурсы с человеком, в условиях изменения ледовитости Белого моря в последние годы.

Начиная с 2004 года ледовая обстановка в Белом море имеет тенденцию к ухудшению как по площади, покрытой льдом, так и по качеству льда – увеличение

в процентном соотношении тонкого битого, мелкобитого льда. С 2008 г. обсуждается вопрос о возможности перемещения части беломорской популяции гренландского тюленя в северном направлении на более удобные льды.

К сожалению, на данный момент вопросы проведения хотя бы разведывательных полётов в период щенки тюленей в Баренцевом море (в районах Чешской губы и от о. Долгий до Карских ворот) так и не решены.

Для расчёта общей численности беломорской популяции гренландского тюленя был применён когортный анализ. Максимальный возраст ограничен значением 33+, однако единичные самки на щеных залёжках встречались в возрасте 38+ [Светочев, Светочева, 2018]. Для каждого поколения (1991–2023 гг.) оценена численность на весну 2024 г. с учётом естественной смертности и промышленным изъятием. Естественная смертность гренландского тюленя, по данным М.Я. Яковенко [1967], составляет: в первый год 20%; на второй – 9%; на третий – 6%; на четвёртый и пятый годы – 5%; в последующем – 7,5%. Стартовая численность поколения соответствует численности приплода по результатам авиаучётов и экспертным оценкам. Данные за период с 2005 по 2013 гг. получены из опубликованных статей [Егоров и др., 2010; Шафиков, 2015; Коржев, Забавников, 2017]. Для поколений с 1991 г. по 2004 г. и с 2014 г. по 2022 г. принято среднее значение 137 тыс. экз., для 2023 г. – 124,6 тыс. (по данным авиаучёта, изложенным в настоящей статье). Таким образом, общая минимальная расчётная численность гренландского тюленя беломорской популяции на начало 2024 года составила 1 548 840 экз. ( $CI^6=[1\,313\,942, 1\,783\,738]$ ), из которых 1 407 148 экз. составляют тюлени в возрасте одного года и старше и 141 692 экз. – щенки.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведена полномасштабная мультиспектральная авиаъёмка по оценке численности, распределения и воспроизводства беломорской популяции гренландского тюленя с применением одновременно нескольких БВС. Обработка данных и расчёты численности осуществлялись по фотографиям видимого и ИК-диапазонах с помощью предварительно обученной нейросети. Построены карты распределения половозрелых особей и щенков на дрейфующих льдах Белого моря. Распределение и уровень смертности щенков гренландского тюленя на дрейфующих льдах Белого моря в зимне-весенний период определяются в основном ледовой

<sup>6</sup> Доверительный интервал

обстановкой и ветровым режимом. Межгодовые колебания численности пополнения гренландского тюленя обусловлены численностью половозрелых самок, участвующих в размножении, а также уровнем весенней смертности щенков и состоянием кормовой базы в предшествующий размножению период нагула тюленей. Полученные данные дали возможность оценить численность пополнения: в 2023 г. на уровне 124,6 тыс. экз.; в 2024 г. – 141,7 тыс. экз. Современная численность гренландского тюленя беломорской популяции на начало 2024 г. составляет 1 548 840 экз. Результаты исследований служат основанием для разработки рекомендаций по сохранению и рациональному использованию гренландского тюленя. Следует отметить, что необходимо проводить на постоянной основе такие авиаучётные работы в период щенки тюленей, включая разведывательные полёты в Баренцевом море – в потенциально новых местах размножения этого вида.

### Благодарности

Авторы выражают благодарность руководству и операторам беспилотных летательных аппаратов АО «Юнайтед Телеком» (АО «ЮТК»), обеспечивших авиаучётные работы.

### 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» по теме «Изучение распределения, численности, роли в экосистемах водоёмов обитания, взаимодействия с рыбными промыслами морских млекопитающих в морях и пресноводных водоёмах Российской Федерации».

### ЛИТЕРАТУРА

Баклагин В.Н. 2018. Исследование ледового режима Белого моря по спутниковым данным NSIDC // Мат. Межд. конф. «ИнтерКарто. ИнтерГИС». 24(2): 40-45. DOI: 10.24057/2414-9179-2018-2-24-40-45

Бизиков В.А., Черноок В.И., Сидоров Л.К., Беляев В.А., Шипулин С.В., Кузнецов В.В., Скользкий В.А., Климов Ф.В., Марабаев Е.Н., Ербулеков С.Т., Куанышев Е.К. 2021 а. Оценка численности популяции каспийского тюленя по результатам инструментальных авиаучётов на льдах в северной части Каспийского моря в 2012 г., 2020 г. и 2021 г. // Использование и охрана природных ресурсов России. № 4. С. 81-93.

Бизиков В.А., Петерфельд В.А., Черноок В.И., Кузнецов Н.В., Петров Е.А., Бобков А.И. Ткачёв В.В., Сидоров Л.К., Болтнев Е.А. 2021 б. Методические рекомендации по проведению учёта приплода байкальской нерпы (*Pusa sibirica*) с беспилотных летательных аппаратов в Байкальском рыболовохозяйственном бассейне. М.: Изд-во ВНИРО. С. 56.

Бизиков В.А., Сабиров М.А., Сидоров Л.К., Лукина Ю.Н. 2022 а. Численность и распределение ладожской кольчатой нерпы в аномально тёплую зиму 2020 года: оценка по результатам авиаучёта с использованием БПЛА // Труды ВНИРО. Т. 190. С. 79-94.

Бизиков В.А., Сидоров Л.К., Петерфельд В.А., Болтнев Е.А. 2022 б. Применение беспилотных летательных аппаратов для оценки численности байкальской нерпы // Биологическое разнообразие: изучение, сохранение, восстановление, рациональное использование. Керчь, 13-18 сентября 2022 года. Мат. III Межд. науч.-практ. конф. Симферополь: ООО Ариал. С. 108-113.

Гайденок Н.Д., Макаревич П.Р., Огнетов Г.Н. 2012 а. Некоторые особенности обработки мониторинга беломорской популяции гренландского тюленя (*Phoca groenlandica*) // Рыбное хозяйство. № 3. С. 50-53.

Гайденок Н.Д., Макаревич П.Р., Огнетов Г.Н., Чмаркова Г.М. 2012 б. Анализ результатов мониторинга беломорской популяции гренландского тюленя // Рыбное хозяйство. № 2. С. 86-90.

Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. 1991. Том II Белое море / Б.Х. Глуховский ред. Л.: Гидрометиздат. 240 с.

Гренландский тюлень. 2001. Современный статус вида и его роль в функционировании экосистем Белого и Баренцева морей / Г.Г. Матишов ред. Мурманск: ООО МИП-999. 220 с.

Добровольский А.Д., Залогин Б.С. 1982. Моря СССР. М.: Изд-во МГУ. 192 с.

Дорофеев С.В. 1939. Влияние ледовых условий на поведение гренландского тюленя // Зоологический журнал. Т. 18. Вып. 5. С. 748-761.

Дорофеев С.В. 1951. Беломорский тюлень-лысун (Промысловая биология). М.: Пищепромиздат. 44 с.

Дорофеев С.В. 1960. Основные черты годового цикла жизни беломорского лысuna // Советские рыболовохозяйственные исследования в морях Европейского Севера. М.: Наука. С. 443-455.

Егоров С.А., Забавников В.Б., Шафиков И.Н. 2010. Результаты учётных авиаисследований гренландского тюленя беломорской популяции (*Pagophilus groenlandicus*), выполненные ПИНРО в 2008-2009 гг. // Морские млекопитающие Голарктики. Сб. науч. трудов по материалам VI Межд. конф. Калининград. М: РОО «Совет по морским млекопитающим». С. 193-196.

Коржев В.А., Забавников В.Б. 2017. Оценка численности гренландского тюленя беломорской популяции в условиях недостатка биологической информации // Труды ВНИРО. 168. С. 105-115

- Коржев В.А., Забавников В.Б., Шафиков И.Н. 2019. Анализ оценки численности гренландского тюленя беломорской популяции (*Pagophilus groenlandicus*) когортными моделями на современном этапе при отсутствии промысла // Морские млекопитающие Голарктики. Сб. науч. трудов по материалам X Межд. конф. Архангельск. М: РОО «Совет по морским млекопитающим». Т. 1. С. 128-136.
- Лукин Л.Р. 2013 Экология пагофильных тюленей Северной Атлантики в период воспроизводства. Екатеринбург: РИО УрО РАН. 156 с.
- Лукин Л.Р., Васильев Л.Ю. 2004. Распределение детных залёжек гренландского тюленя в Белом море в 60-90-х годах XX века // Биология моря. Т. 30. № 4. С. 272-278.
- Лукин Л.Р., Огнегов Г.Н. 2011. Гренландский тюлень: промысел, изменчивость климата, численность запасов // Рыбное хозяйство. № 2. С. 56-60.
- Назаренко Ю.И. 1984. Биология и промысел беломорской популяции гренландского тюленя // Морские млекопитающие. М.: Наука. С. 109-117.
- Огнегов Г.Н. 2008. Гренландский тюлень беломорской популяции: проблемы изученности и оценки состояния запасов // Рыбное хозяйство. № 1. С. 88-90.
- Попов Л.А. 1971 а. Об учёте численности плодоносящих самок гренландского тюленя // Труды ВНИРО. Т. 79. С. 102-105.
- Попов Л.А. 1971 б. О причинах и размерах естественной смертности детенышей гренландского тюленя в период лактации // Труды АтлантНИРО. № 39. С. 100-109.
- Репнинский А. 1999 Олезундская зверобойная концессия: проблемы браконьерства и экологии в советско-норвежских отношениях // Размышления о беломорском тюлене: Очерки. Статьи. Документы. Хроника Архангельск: Изд-во Поморского госуниверситета. С. 49-99.
- Светочев В.Н., Светочева О.Н. 2009. Экология детенышей гренландского тюленя (*Phoca groenlandica*) в ледовый период в Белом море // ДАН. Т. 425. № 1. С. 131-133.
- Светочев В.Н., Светочева О.Н. 2018. Гренландский тюлень: биология, экология, промысел. Мурманский морской биологический ин-т КНЦ РАН. Апатиты: Изд. КНЦ РАН. 174 с.
- Сидоров Л.К. 2025. Опыт применения цифрового зрения при обработке фотоматериалов авиаучетов морских млекопитающих // Современные методы оценки и рационального использования водных биологических ресурсов: Мат. II межд. науч.-практ. конф. Москва, ФГБНУ «ВНИРО», 18-22 ноября 2024 г. М.: Изд-во ВНИРО. С. 156-159.
- Сидоров Л.К., Бизиков В.А., Рожнов В.В., Шипулин С.В., Кузнецова В.В., Белокобыльский И.Ф., Мягкий Н.А., Соловьева М.А., Глазов Д.М., Назаренко Е.А. 2023. Распределение и численность каспийского тюленя на льдах в российской части Северного Каспия в феврале-марте 2023 г. // Труды ВНИРО. Т. 193. С. 82-100.
- Чапский К.К. 1965. Начальный период постнатального роста беломорского лысuna (*Pagophoca groenlandica*) // Морские млекопитающие. М. Наука, С. 138-157.
- Челинцев Н.Г. 2004. Алгоритмы экстраполяции при авиаучётах животных // Бюллетень МОИП. Отд. биол. Т. 109. Вып. 2. С. 3-14.
- Черноок В.И. 2009. Результаты инструментального авиа-мониторинга беломорской популяции гренландского тюленя в 1998-2008 гг. // Биологические ресурсы белого моря и внутренних водоёмов европейского севера. Мат. 28 Межд. конф. 5-8 октября 2009 г. г. Петрозаводск, Республика Карелия, Россия. Петрозаводск: КарНЦ РАН. С. 601-604.
- Черноок В.И., Кузнецов Н.В., Яковенко М.Я. 1999. Мультиспектральная съёмка гренландского тюленя. Мурманск: Изд-во ПИНРО. 73 с.
- Черноок В.И., Кузнецов Н.В. 2000. Способ подсчёта теплокровных животных с летательного аппарата // Патент на изобретение RU 2193308 C2, 27.11.2002. Заявка № 2000117615/13 от 04.07.2000.
- Черноок В.И., Тимошенко Ю.К., Мейзенхаймер П., Иннес С., Кузнецов Н.В. 2000. Результаты учёта численности гренландского тюленя в Белом море в 1998 году. // Морские млекопитающие Голарктики. Мат. Межд. конф. Архангельск. М: РОО «Совет по морским млекопитающим». С. 426-431.
- Черноок В.И., Болтнев А.И. 2008. Регуляторный инструментальный авиамониторинг зафиксировал резкое снижение рождаемости беломорской популяции гренландского тюленя // Сб. науч. трудов по материалам V Межд. конф. Одесса. С. 100-104.
- Шафиков И.Н. 2012. Беломорская популяция гренландского тюленя (*Phoca groenlandica*): Куда пропал миллион тюленей? // Морские млекопитающие Голарктики. Сб. науч. трудов по материалам VII Межд. конф. Сузdal. М: РОО «Совет по морским млекопитающим». Т. 2. С. 378-381.
- Шафиков И.Н. 2015 Авиасследования и численность беломорской популяции гренландского тюленя (*Phoca groenlandica*) в 2013 г. // Морские млекопитающие Голарктики. Сб. науч. трудов по материалам VIII Межд. конф. Санкт-Петербург. М: РОО «Совет по морским млекопитающим». Т. 2. 307-313.
- Шафиков И.Н., Забавников В.Б., Егоров С.А., Терещенко В.А., Лисовский А.С., Асютенко В.В. 2006. Результаты авиа-съёмок гренландского тюленя (*Phoca groenlandica*) беломорской популяции на щенят и линных залёжках в 2004-2005 гг. // Морские млекопитающие Голарктики. Сб. науч. трудов по материалам IV Межд. конф. Санкт-Петербург. М: РОО «Совет по морским млекопитающим». С. 552-555.
- Шитиков В.К. 2012. Использование рандомизации и бутстрепа при обработке результатов экологических наблюдений // Принципы экологии. Т. 1. № 1. С. 4-24.
- Яковенко М.Я. 1967 Беломорская популяция гренландского тюленя и перспективы ее эксплуатации. // Труды ПИНРО. Вып. 21. С. 6-18
- ICES. 2023. Report of the Joint ICES/NAFO/NAMMCO Working Group on Harp and Hooded Seals (WGHARP). ICES Scientific Reports. 5:96. 75 p. DOI 10.17895/ices.pub.24306100ICES, 2016, 2019

- Potelov V.A., Golikov A.P., Bondarev V.A. 2003. Estimated pup production of harp seals *Pagophilus groenlandicus* in the White Sea, Russia, in 2000 // ICES J Mar Sci 60: P. 1012-1017.
- Sergeant D.E. 1991. Harp seals, man and ice. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 114:153 p.
- Haug T., Biuw M. 2023. Harp Seal *Pagophilus groenlandicus* (Erxleben, 1777) In K. Hackländer & F.E. Zachos (Eds.), Handbook of the Mammals of Europe. (pp. 21). Springer Nature Switzerland. DOI 10.1007/978-3-319-65038-8\_144-1
- Stenson G.B., Hammill M.O. 2014 Can ice breeding seals adapt to habitat loss in a time of climate change? // ICES J. of Mar. Science, V. 71, Iss. 7. P. 1977-1986. DOI 10.1093/icesjms/fsu074
- Stenson G.B., Haug T., Hammill M.O. 2020 Harp seals: monitors of change in differing ecosystems. // Frontiers in Marine Science. V.7. Article 569258. DOI 10.3389/fmars.2020.569258
- Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas of the USSR. 1991. Volume II White Sea / B.Kh. Glukhovsky ed. Leningrad: Gidrometizdat. 240 p. (In Russ.)
- Harp seal. 2001. Current status of the species and its role in the functioning of the ecosystems of the White and Barents Seas / G.G. Matishov ed. Murmansk: LLC MIP-999. 220 p. (In Russ.).
- Dobrovolsky A.D., Zalogin B.S. 1982. Seas of the USSR. Moscow: MSU Publish. 192 p. (In Russ.)
- Dorofeev S.V. 1939. The influence of ice conditions on the behavior of the harp seal // Zoologichesij Zhurnal. V. 18. Iss. 5. P. 748-761. (In Russ.).
- Dorofeev S.V. 1951. White Sea Harp seal (Commercial Biology). Moscow: Pishchepromizdat. 44 p. (In Russ.).
- Dorofeev S.V. 1960. Main features of the annual life cycle of the White Sea harp seal // Soviet fishery research in the seas of the European North. Moscow: Nauka, pp. 443-455. (In Russ.).
- Egorov S.A., Zabavnikov V.B., Shafikov I.N., 2010 Results of the White/Barents seas harp seal (*Phoca groenlandica*) aerial survey carried out by PINRO // Marine Mammals of the Holarctic. Coll. Papers of the Sixth Intern. Conf. Kaliningrad. M: RPO "Marine Mammal Council". P. 193-196.
- Zhilinsky A.A. 1957. The hunting industry in the White Sea. Petrozavodsk: State Publishing House of the Karelian ASSR, 54 p. (In Russ.)
- Korzhev V.A., Zabavnikov V.B., 2017. Estimation of the White sea harp seal population abundance by biological information lack // Trudy VNIRO. V. 168. P. 105-116. (In Russ.)
- Korzhev V.A., Zabavnikov V.B., Shafikov I.N. 2019. Analysis of estimation of the current White Sea harp seal (*Pagophilus groenlandicus*) population abundance in the absence of hunting pressure, using cohort models // Marine Mammals of the Holarctic. Coll. Papers of the Tenth Intern. Conf. Arkhangelsk. M: RPO "Marine Mammal Council". Vol. 1. P. 128-136.
- Lukin L.R., 2013. Ecology of pagophilic seals of the North Atlantic during the reproduction period. Ekaterinburg: RIO UB RAS, – 156 p. (In Russ.)
- Lukin L.R., Vasilyev L.Yu. 2004. Distribution of harp seal whelping grounds in the White Sea in the 1960s-1990s // Marine Biology, Vol. 30, No. 4, P. 272-278. (In Russ.)
- Lukin L.R., Ognetov G.N. 2011. The White Sea harp seal: exploitation, climatic variability, and abundance // The Fisheries journal № 2. P. 56-60 (In Russ.)
- Nazarenko Yu.I. 1984. Biology and trade of the White Sea population of the harp seal // Marine mammals. Moscow: Nauka. P. 109-117.
- Ognetov G.N. 2008. The White Sea population of harp seal: the problem of study and stock assessment // Rybnoe hozyajstvo № 1. P. 88-90 (In Russ.)
- Popov L.A. 1971 a. On the estimation of the number of fertile female Greenland seals // Trudy VNIRO. V. 79. P. 102-105. (In Russ.)

## REFERENCES

- Baklagin V.N. 2018. Study of the ice regime of the white sea by satellite data of NSIDC // Proceedings of the Intern. Conf. «InterCarto. InterGIS». 24(2): P. 40-45. (In Russ.)
- Bizikov V.A., Belyaev V.A., Chernook V.I., Sidorov L.K., Shipulin S.V., Kuznetsov V.V., Vasiliev A.N., Skolsky V.A., Klimov F.V., Marabaev E.N., Erbulekov S.T., Kuanyshov E.K. 2021 a. Estimation of abundance of the Caspian seal basing on the results of aviation surveys of the seal ice rookery in the Northern Caspian in 2012, 2020 and 2021 // Use and protection of Russia's natural resources. No. 4. P. 81-93. (In Russ.)
- Bizikov V.A., Peterfeld V.A., Chernook V.I., Kuznetsov N.V., Petrov E.A., Bobkov A.I., Tkachev V.V., Sidorov L.K., Boltnev E.A. 2021 b. Methodological recommendations for the accounting of the Baikal seal (*Pusa sibirica*) offspring using unmanned aerial vehicles in the Baikal fishery basin. Moscow: VNIRO Publish. 56 p. (In Russ.)
- Bizikov V.A., Sabirov M.A., Sidorov L.K., Lukina Ju.N. 2022 a. Abundance and distribution of the Ladoga ringed seals in anomaly warm winter 2020: results of the aerial survey using drones // Trudy VNIRO. V. 190. P. 79-94. (In Russ.)
- Bizikov V.A., Sidorov L.K., Peterfeld V.A., Boltnev E.A. 2022 b. The use of unmanned aerial vehicles for estimation of Baikal seals population // Biological diversity: study, conservation, restoration, rational use. Kerch, September 13-18, 2022. Mat. of the III Intern. Scient. and Pract. Conf. Simferopol: LLC Typography Arial. P. 108-113. (In Russ.)
- Gaydenok N.D., Makarevich P.R., Ognetov G.N. 2012 a. Analysis of monitoring results for the White Sea harp seal population // Rybnoe hozyajstvo. № 3. P. 50-53 (In Russ.)
- Gaydenok N.D., Makarevich P.R., Ognetov G.N., Chmarkova G.M. 2012 b. Analysis of monitoring results for the White Sea harp seal population // Rybnoe hozyajstvo № 2. P. 86-90 (In Russ.)
- Trudy VNIRO. 2025. V. 199. P. 64-85

- Popov L.A. 1971 b. On the causes and extent of natural mortality of harp seal pups during lactation // Trudy AtlantNIRO. Kaliningrad, No. 39. P. 100-109.
- Repnevsky A. 1999 The Olesund seal-hunting concession: poaching problems in Soviet-Norwegian relations // Reflections on the White Sea seal: Essays. Articles. Documents. Chronicle Arkhangelsk: Publishing house of the Pomor State University. P. 49-99. (In Russ.)
- Svetochev V.N., Svetocheva O.N., 2009. Ecology of harp seal (*Phoca groenlandica*) pups on ises in the White Sea // Doklady biological science V. 425. № 1. P 131-133. (In Russ.)
- Svetochev V.N., Svetocheva O.N., 2018 The harp seal: biology, ecology, harvesting. Murmansk Marine Biological Institute KSC RAS. Apatity: Kola SC RAS. 174 p. (In Russ.)
- Sidorov L.K. 2025. Experience of using digital vision in processing photographic materials of aerial surveys of marine mammals // Modern methods of assessment and rational use of aquatic biological resources. Abstr. of the intern. scient. and pract. conf., Moscow, November 18-22, 2024. Moscow: VNIRO Publish. P 156-159. (In Russ.)
- Sidorov L.K., Bzikov V.A., Rozhnov V.V., Shipulin S.V., Kuznetsov V.V., Belokobylsky I.F., Myagkij N.A., Solovyeva M.A., Glazov D.M., Nazarenko Y.A. 2023 Abundance and distribution of the Caspian seals on ice in the Russian part of the Northern Caspian in February – March 2023 // Trudy VNIRO. V. 193. P. 82-100. (In Russ.)
- Chapsky K.K. 1965. Initial period of postnatal growth of the harp seal (*Pagophoca groenlandica*) // Marine mammals. Moscow: Nauka, pp. 138-157. (In Russ.)
- Chelintsev N.G. 2004. Extrapolation algorithms for aerial surveys of animals // Bul. MOIP. Dep. biol. V.109. Iss. 2. P. 3-14. (In Russ.)
- Chernook V.I. 2009. Results of instrumental aerial monitoring of the White Sea population of harp seals in 1998-2008 // Biological resources of the White Sea and inland waters of European northc. Proc. of the 27 intern. conf. October, 5-8, 2009 Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russia Republic of Karelia, Russia. Petrozavodsk: KRC RAS (In Russ.)
- Chernook V.I., Kuznetsov N.V., Yakovenko M.Ya. 1999. Multispectral survey of the harp seal. Murmansk: PINRO Publish. 73 p. (In Russ.)
- Chernook V.I., Kuznetsov N.V. 2000. Method for counting of hot-blooded animals from aircraft // Patent for invention RU 2193308 C2, 27.11.2002. Application No. 2000117615/13 dated 04.07.2000.
- Chernook V.I., Timoshenko Yu.K., Meisenheimer P., Innes S., Kuznetsov N.V. 2000. Results of the harp seal census in the White Sea in 1998. Marine Mammals of the Holarctic. Coll. Papers of the Intern. Conf. Arkhangelsk. Moscow: RPO «Marine Mammal Council». P. 426-431.
- Chernook V.I., Boltnev A.I. 2008. Regular instrumental aerial surveys detect a sharp drop in the birthrates of the harp seal in the White Sea // Marine Mammals of the Holarctic. Coll. Papers of the Fifth Intern. Conf. Odessa. Moscow: RPO «Marine Mammal Council». P. 100-104.
- Shafikov I.N. 2012 The White Sea harp seal population: Where one million seals have been lost? // Marine Mammals of the Holarctic. Coll. Papers of the Seventh Intern. Conf. Suzdal. Moscow: RPO «Marine Mammal Council». Vol. 1. P. 378-381.
- Shafikov I.N. 2015. Aerial research and White Sea Greenland seal (*Phoca groenlandica*) population abundance in 2013 // Marine Mammals of the Holarctic. Coll. Papers of the Eighth Intern. Conf. Saint-Petersburg. Moscow: RPO «Marine Mammal Council». Vol. 2. P. 307-313.
- Shafikov I.N., Zabavnikov V.B., Egorov S.A., Tereshchenko V.A., Lisovsky A.S., Asyutenko V.V. 2006. Results of aerial survey of the White Sea harp seal (*Phoca groenlandica*) population on the whelping and molting patches in 2004-2005 // Marine Mammals of the Holarctic. Coll. Papers of the Fourth Intern. Conf. Saint-Petersburg. Moscow: RPO «Marine Mammal Council». P. 552-555.
- Shitikov V.K. 2012 Use of randomization and bootstrap at processing of result of ecological observations // Principles of Ecology. 2012. Vol. 1. No. 1. P. 4-24. (In Russ.)
- Yakovenko M.Ya. 1967 The White Sea population of the harp seal and prospects for their fishing // Trudy PINRO. Research of marine mammals. Iss. 21. P. 6-18. (In Russ.)
- ICES. 2023. Report of the Joint ICES/NAFO/NAMMCO Working Group on Harp and Hooded Seals (WGHARP). ICES Scientific Reports. 5:96. 75 p. DOI 10.17895/ices.pub.24306100ICES, 2016, 2019
- Potelov V.A., Golikov A.P., Bondarev V.A. 2003. Estimated pup production of harp seals *Pagophilus groenlandicus* in the White Sea, Russia, in 2000 // ICES J Mar Sci 60: P. 1012-1017.
- Sergeant D.E. 1991. Harp seals, man and ice. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 114:153 p.
- Haug T., Biuw M. 2023. Harp Seal *Pagophilus groenlandicus* (Erxleben, 1777) In K. Hackländer & F.E. Zachos (Eds.), Handbook of the Mammals of Europe. (pp. 21). Springer Nature Switzerland. DOI 10.1007/978-3-319-65038-8\_144-1
- Stenson G.B., Hammill M.O., 2014 Can ice breeding seals adapt to habitat loss in a time of climate change? // ICES J. of Mar. Science, V. 71, Iss. 7. P. 1977-1986. DOI 10.1093/icesjms/fsu074
- Stenson G.B., Haug T., Hammill M.O. 2020 Harp seals: monitors of change in differing ecosystems. // Frontiers in Marine Science. V.7. Article 569258. DOI 10.3389/fmars.2020.569258

Поступила в редакцию 16.12.2024 г.  
Принята после рецензии 14.01.2025 г.

УДК 594; 595.3; 597.2/5; 639.22; 639.27/29; 639.2.052

## Водные биологические ресурсы

# Современное состояние запасов и промысла водных биологических ресурсов в российских водах Берингова и Чукотского морей и рекомендации по их рациональному использованию

А.В. Датский

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

**Цель работы:** оценка современного состояния запасов и промысла водных биологических ресурсов в российских водах Берингова и Чукотского морей и выработка рекомендаций по обеспечению их рационального использования. **Используемые методы:** для решения поставленной цели проанализированы данные по промысловой биомассе, вылову и освоению морских рыб и беспозвоночных за период с 1997 по 2022 гг. Рекомендации по повышению эффективности использования сырьевой базы гидробионтов сформированы на основании собственных и иных исследований, а также анализа современного рыболовства и мер его регулирования. **Новизна:** элементами новизны являются современные материалы по биомассам, вылову и освоению ресурсов морских рыб и беспозвоночных в Беринговом и Чукотском морях в пределах районов российской юрисдикции. Промысловые запасы водных биоресурсов в западной части Берингова моря в среднем составили 5087 тыс. т, из которых 4933 тыс. т (97%) пришлось на рыб. В Чукотском море биомасса гидробионтов в 26 раз меньше, чем в Беринговом море: в среднем 197 тыс. т (189 тыс. т рыбы). В Беринговом море промысел осуществляется более 100 лет и на современном этапе базируется на 14 видах или группах видов рыб и 10 объектах беспозвоночных. В Чукотском море рыболовство, основой которого является исключительно макротай, осуществляется только в 2021-2024 гг. **Практическая значимость:** результаты исследования могут быть использованы в прогнозировании динамики запасов водных биоресурсов и ведении их промысла. Также выделены первостепенные направления по повышению эффективности использования сырьевой базы гидробионтов: уточнение запасов, повышение результативности действующего промысла, совершенствование нормативной базы рыболовства. В рамках указанных направлений рекомендованы конкретные меры, позволяющие поддержать уловы рыб и беспозвоночных на максимально возможном уровне в течение длительного периода времени при эксплуатации их запасов без риска нанесения им непоправимого ущерба.

**Ключевые слова:** морские рыбы, беспозвоночные, Берингово море, Чукотское море, биомасса, промысел, рекомендации по рациональному использованию.

## Current state of reserves and harvesting of aquatic biological resources in the Russian waters of the Bering and Chukchi Seas and recommendations for their rational use

Andrey V. Datsky

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

**The purpose of the work:** to assess the current state of reserves and fishery of aquatic biological resources in the Russian waters of the Bering and Chukchi seas and to develop recommendations to ensure their rational use. **Methods used:** to achieve this goal, data on commercial biomass, catch and development of marine fish and invertebrates for the period from 1997 to 2022 were analyzed. Recommendations for increasing the efficiency of using the raw material base of aquatic organisms are formed on the basis of our own and other studies, as well as an analysis of existing fisheries and measures to regulate them. **Novelty:** elements are modern materials on biomass, catch and development of marine fish and invertebrate resources in the Bering and Chukchi seas within the areas of Russian jurisdiction. Commercial stocks of aquatic biological resources in the western part of the Bering Sea averaged 5087 thousand tons, of which 4933 thousand tons (97%) were fish. In the Chukchi Sea, the biomass of hydrobionts is 26 times less than in the Bering Sea: on average 197 thousand tons (189 thousand tons of fish). In the Bering Sea, fishing has been carried out for more than 100 years and at the present stage is based on 14 species or groups of fish species and 10 invertebrate objects. In the Chukchi Sea, fishing, the basis of which is exclusively walleye pollock, is carried out only in 2021-2024. **Practical significance:** the results of the study can be used in forecasting the dynamics of aquatic biological resources and conducting their fishery. The priority directions for increasing the efficiency of using the raw material base of aquatic organisms are also highlighted: clarification of reserves, increasing the efficiency of existing fisheries, improving the regulatory framework for fishing. Within the framework of these areas, specific measures are recommended to maintain catches of fish and invertebrates at the highest possible level for a long period of time during the exploitation of their stocks without the risk of causing irreparable damage to them.

**Keywords:** marine fish, invertebrates, Bering Sea, Chukchi Sea, biomass, fishery, recommendations for rational use.

## ВВЕДЕНИЕ

Берингово и Чукотское моря – окраинные водоёмы северо-западной акватории Тихого океана и восточного сектора Арктики. При этом Берингово море – один из наиболее продуктивных морских водоёмов в Дальневосточном рыболово-промышленном бассейне. На современном этапе западная часть моря обеспечивает первое место по вылову трески *Gadus macrocephalus* Tilesius, 1810, белокорого *Hippoglossus stenolepis* Schmidt, 1904 и стрелозубых *Atheresthes evermanni* Jordan & Starks, 1904, *A. stomias* Jordan & Gilbert, 1880 палтусов, макруров, морских окуней, угольной рыбы *Anoplopoma fimbria* (Pallas, 1814) и бычков, второе место после Охотского моря по добыче наваги *Eleginops gracilis* (Tilesius, 1810), черного палтуса *Reinhardtius hippoglossoides* (Walbaum, 1792) и сельди *Clupea pallasii* Valenciennes, 1847. Перспективы промыслового использования сырьевой базы водных биоресурсов (ВБР) Чукотского моря существенно ниже по причине меньшего видового разнообразия сообществ и более низкой их продуктивности [Датский, 2023 а].

Начало исследований этих морей было положено в середине 1920-х гг. прошлого века, с развитием рыбной промышленности ценность научной информации об отдельных объектах промысла существенно возросла, количество экспедиций увеличилось, они стали охватывать обширные акватории и большее число гидробионтов [Снытко и др., 2005; Рыболово-промышленной науке..., 2011]. В частности, проведённые в 1932-1933, 1950-1952, 1957-1965 гг. комплексные исследования, вкупе с современными научными работами 1980-2020 гг., обнаружили значительный ресурсный потенциал Берингова моря [Моисеев, 1953; Новиков, 1974; Курмазов, 2006; Шунтов, 2016, 2022; Датский, 2019 а, б; Датский, Самойленко, 2021]. Траловые съёмы 2000-2010-х гг. на фоне трансформации климата последнего десятилетия показали определённые перспективы использования ресурсов и Чукотского моря [Datsky, 2015; Орлов и др., 2019; Датский и др., 2022 а, б; Датский, Датская, 2022; Датский, 2023 а, б].

Климатические и океанологические изменения (общее потепление, снижение площади морского льда и сроков его таяния, изменение циркуляций течений и состава кормовой базы) в Беринговом и Чукотском морях в последние годы привели к значительным преобразованиям морских экосистем и отразились на распределении ресурсов гидробионтов, их биологии и биомассе [Датский и др., 2022 а]. Очевидным в данном случае представляется и изменение подходов к регулированию запасами ВБР в этих водоёмах

и формирование современных рекомендаций к рациональному использованию ресурсов в ходе настоящего рыболовства.

В этой связи, цель настоящей работы состоит в оценке современного состояния запасов и промысла водных биологических ресурсов (рыб и беспозвоночных) в российских водах Берингова и Чукотского морей и выработке рекомендаций по обеспечению их рационального использования.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использованы данные по промысловой биомассе (определенная часть общих запасов гидробионтов, состоящая в основном из достигших промысловых размеров половозрелых особей) морских рыб и беспозвоночных российских вод Берингова и Чукотского морей за период с 1997 по 2022 гг., представленные в ежегодных материалах<sup>1</sup> научно-исследовательских институтов Росрыболовства и научных публикациях [Сыревая база..., 2012; Датский и др., 2021, 2022 а; Датский, Самойленко, 2021]. Вследствие нерегулярности траловых съёмок и соответствующей фрагментарности сведений о сырьевой базе морей, для установления динамики запасов гидробионтов отсутствие данных в отдельные годы дополняли осреднением результатов исследований смежных лет.

Для пяти видов тихоокеанских лососей (горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1792), кета *O. keta* (Walbaum, 1792), нерка *O. nerka* (Walbaum, 1792), кижуч *O. kisutch* (Walbaum, 1792), чавыча *O. tshawytscha* (Walbaum, 1792)) проанализирован их суммарный вылов в реках северо-восточного побережья Камчатки и Чукотки в пределах акватории Берингова моря. Затем с использованием имеющихся фактических данных 2013-2022 гг. по вылову, учёту рыб на нерестилищах и их общим подходам, были определены поправочные коэффициенты для каждого вида, которые позволили через уловы лососей подсчитать промысловые запасы тихоокеанских лососей за весь период исследований. К примеру, по анадырской кете за 2013 г. известны численности прошедших на нерест производителей, элиминированных морскими млекопитающими рыб и официально выловленных особей, что позволило определить общую численность производителей. Затем через среднюю массу рыб в этом году переводили численность рыб на их про-

<sup>1</sup> См. напр.: Состояние промысловых ресурсов Дальневосточного рыболово-промышленного бассейна – 2024 (информационный помощник). Владивосток: ТИНРО, 2024. 210 с. Состояние промысловых ресурсов. Прогноз общего вылова гидробионтов по Дальневосточному рыболово-промышленному бассейну на 2018 г. (краткая версия). Владивосток: ТИНРО-Центр, 2018. С. 434 с.; и др.

мысловую биомассу. Далее через соотношение уловов и промысловой биомассы определяли коэффициент перерасчёта, который в 2013 г. составил 10,8 (в 2014–2022 гг. изменялся от 1,8 до 9,4). Таким образом, за период 2013–2022 гг. осреднённый коэффициент составил 5,4; его и использовали для пересчёта уловов рыб на общий промысловый запас в прочие годы, когда не было других данных.

Общие допустимые уловы (ОДУ) рыб и беспозвоночных взяты из распоряжений Правительства РФ (2000–2005 гг.)<sup>2</sup>, приказов Министерства сельского хозяйства РФ (2006, 2007, 2013–2022 гг.)<sup>3</sup> Государственного комитета РФ по рыболовству (2008 г.) и Федерального агентства по рыболовству (2009–2012 гг.)<sup>4</sup>. После выведения в 2009 г. части ВБР в категорию объектов, на которые ОДУ не устанавливается, объёмы рекомендованного вылова (РВ) таких объектов также регламентировали ежегодными приказами Росрыболовства (2009–2022 гг.). Вылов гидробионтов рассматривали по данным оперативной отчётности предприятий и отраслевой системы мониторинга. Для доступа к уловам ВБР и первичной обработки промысловых данных использовали программу «FMS analyst» [Vasilets, 2015].

Рыбопромысловое районирование российских вод Берингова и Чукотского морей приведено в более ранних работах [Датский, 2019 а; Датский и др., 2022 а, 2023 б]. Данные по стоимости продукции первого предъявления (оптовые цены) взяты с интернет-портала FishNet.ru (<https://www.fishnet.ru/>).

Рекомендации по повышению эффективности использования сырьевой базы ВБР сформированы на основании собственных и иных исследований, а также анализа современного рыболовства и мер его регулирования.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### Современное состояние запасов и промысла водных биологических ресурсов Берингова и Чукотского морей

Осреднённая промысловая биомасса морских рыб и беспозвоночных российских вод Берингова и Чукотского морей представлена в табл. 1. Суммарная биомасса ВБР в обоих морях составила в среднем 5284 тыс. т, из которых на Берингово море при-

шлось 5087 тыс. т, или около 96 % всех запасов. На морских рыб в берингоморских водах приходится 97,0 % (4933 тыс. т) всей промысловой биомассы анализируемых гидробионтов, в чукотских водах – 96,1 % (189 тыс. т). Беспозвоночные в среднем не превышают соответственно 154,8 и 7,7 тыс. т. В целом, можно констатировать, что величина сырьевой базы морских рыб и беспозвоночных Берингова моря в 26,1 и 20,1 раз больше соответствующих запасов ВБР Чукотского моря. Иными словами, ресурсы последнего водоёма составляют 3,8 и 5,0 % от запасов соответственно рыб и беспозвоночных Берингова моря. При этом более половины оценённой биомассы рыб Чукотского моря – это мигрировавший в ходе поиска корма в его воды из смежного Берингова моря минтай [Датский и др., 2022 а, б].

Применительно к рыбопромысловым районам, в западной части Берингова моря основные рыбные запасы сосредоточены в Западно-Берингоморской зоне – 3669 тыс. т, или 74,4 %. В юго-западной части моря (в Карагинской подзоне) и его северных водах (Чукотская зона) ресурсы рыб значительно меньше: соответственно 1197 тыс. т (24,3 %) и 67 тыс. т (1,3 %). Аналогичная ситуация с ресурсами беспозвоночных с той лишь разницей, что в Чукотской зоне значимые их скопления отсутствуют, а около 93 % запасов этих гидробионтов (143 тыс. т) находятся в Западно-Берингоморской зоне (табл. 2). В целом, в пределах российских вод Берингова моря 36 объектов рыболовства (24 – рыб, 12 – беспозвоночных) отмечены в Западно-Берингоморской зоне (74,9 % всех ресурсов), что обусловлено её значительной площадью (66 % всей акватории западной части моря) и разнообразными рельефом дна и условиями обитания.

Промысловые запасы рыб в Беринговом море продуктируются представителями 11 семейств, среди которых преобладают тресковые Gadidae, сельдевые Clupeidae, долгохвостовые Macrouridae, камбаловые Pleuronectidae, рогатковые Cottidae и лососёвые Salmonidae рыбы (табл. 1). Виды доминирующих семейств формируют в среднем 98,1 % всех рыбных запасов (4860 тыс. т) исследуемого водоёма. Прочие объекты промысла (корюшковые Osmeridae, скаты Arhynchobatidae, терпуговые Hexagrammidae, морские окунь Sebastidae, анаплопомовые Anoplopomatidae) не столь обильны. Если рассматривать продуктивность отдельных видов, то наибольшей промысловой биомассой выделяются минтай *Gadus chalcogrammus* (Pallas, 1814), сельдь, треска, малоглазый макрурус *Albatrossia pectoralis*

<sup>2</sup> <http://government.ru/docs/all/50515/>; <http://government.ru/docs/all/43787/>

<sup>3</sup> <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Minselhoza-Rossii-ot-05.11.2013-N-403/>; <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Rosrybolovstva-ot-05.10.2011-N-983/>; <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Minselhoza-Rossii-ot-10.10.2016-N-445/>

<sup>4</sup> <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Minselhoza-Rossii-ot-19.10.2021-N-711/>; и др.

**Таблица 1.** Осреднённая промысловая биомасса морских рыб и беспозвоночных Берингова и Чукотского морей в пределах российских вод и ее соотношение по данным 1997-2022 гг.**Table 1.** Average commercial biomass of marine fish and invertebrates of the Bering and Chukchi Seas within Russian waters and its ratio according to data from 1997-2022

Объект рыболовства (семейство, группа, вид, группа видов)	Промысловая биомасса в Бм <sup>1</sup>				Промысловая биомасса в Чм <sup>2</sup>				Соотношение промыловых биомасс ВБР	
	тыс. т		%		тыс. т		%			
	Min	Max	Среднее	Среднее	Min	Max	Среднее	Среднее	Бм/Чм, разы	Чм / Бм, %
ВБР в целом, в том числе:	3721,301	6419,546	5087,330	-	5,436	450,110	196,683	-	25,9	3,9
морские рыбы, том числе:	3591,343	6266,619	4932,524	100,0	5,436	446,212	188,966	100,0	26,1	3,8
тресковые, в том числе:	1731,032	4507,303	3343,753	67,8	0,730	428,580	174,955	92,6	19,1	5,2
- минтай	1421,228	3198,941	2582,529	52,4	0	380,000	97,066	51,4	26,6	3,8
- треска	202,000	1700,000	622,652	12,6	0	0,088	0,024	0,01	25943,8	0,004
- навага	39,736	247,000	132,893	2,7	0	0,080	0,022	0,01	6040,6	0,02
- сайка	0,012	18,560	5,678	0,1	0,660	366,000	77,843	41,2	0,1	1371,0
сельдевые, в том числе:	171,600	2165,000	765,515	15,5	0	0,513	0,152	0,1	5036,3	0,02
- сельдь тихоокеанская	171,600	2165,000	765,515	15,5	0	0,513	0,152	0,1	5036,3	0,02
долгохвостовые (макруры)	200,000	290,000	228,435	4,6	-	-	-	-	-	-
камбаловые, в том числе:	156,134	386,435	211,665	4,3	0	17,240	8,988	4,8	23,5	4,2
- камбалы дальневосточные	69,189	328,615	129,998	2,6	0	17,240	8,987	4,8	14,5	6,9
- белокорый палтус	16,200	52,000	39,243	0,8	-	-	-	-	-	-
- стрелозубые палтусы	3,720	42,960	26,894	0,5	-	-	-	-	-	-
- черный палтус	10,500	19,100	15,529	0,3	0	0,003	0,001	0,001	15529,3	0,01
рогатковые (бычки)	72,325	258,366	146,394	3,0	0	4,870	1,648	0,9	88,8	1,1
лососевые, в том числе:	15,114	460,209	143,907	2,9	0	1,250	0,417	0,2	345,1	0,3
- горбуша	2,789	415,441	118,422	2,4	-	-	-	-	-	-
- кета	5,239	34,640	19,154	0,4	0	0,980	0,327	0,2	58,6	1,7
- нерка	1,049	7,497	3,650	0,07	0	0,120	0,040	0,02	91,2	1,1
- гольцы	0,487	3,600	2,315	0,05	-	-	-	-	-	-
- кижуч	0,005	0,930	0,239	0,005	-	-	-	-	-	-
- чавыча	0,018	0,242	0,128	0,003	0	0,150	0,050	0,03	2,6	39,2
корюшковые, в том числе:	14,712	144,443	52,803	1,1	0	4,720	2,806	1,5	18,8	5,3
- мойва	1,720	142,000	44,669	0,9	0	4,720	2,805	1,5	15,9	6,3
- корюшки	2,443	13,977	8,134	0,2	0	0,004	0,001	0,001	8134,0	0,01
безрылые скаты (скаты)	12,550	34,180	25,023	0,5	-	-	-	-	-	-
терпуговые, в том числе:	4,900	13,600	9,153	0,2	-	-	-	-	-	-
- северный однопёрый терпуг	4,900	13,600	9,153	0,2	-	-	-	-	-	-
морские окуньи, в том числе:	2,830	5,880	3,922	0,1	-	-	-	-	-	-
- собственно морские окуньи	1,369	4,180	2,397	0,05	-	-	-	-	-	-
- шипощеки	1,082	2,090	1,525	0,03	-	-	-	-	-	-
аноплопомовые, в том числе:	0,214	6,980	1,955	0,04	-	-	-	-	-	-
- угольная рыба	0,214	6,980	1,955	0,04	-	-	-	-	-	-
беспозвоночные, в том числе:	101,656	233,818	154,807	100,0	0,400	25,600	7,717	100,0	20,1	5,0
моллюски, в том числе:	31,600	102,678	59,621	38,9	0	0,943	0,597	7,7	99,9	1,0
- командорский кальмар	22,300	80,000	40,309	26,3	-	-	-	-	-	-
- трубачи	9,000	38,586	19,045	12,4	0	0,943	0,597	7,7	31,9	3,1

Окончание табл. 1

Объект рыболовства (семейство, группа, вид, группа видов)	Промысловая биомасса в Бм <sup>1</sup>				Промысловая биомасса в Чм <sup>2</sup>				Соотношение промыловых биомасс ВБР	
	тыс. т		%		тыс. т		%			
	Min	Max	Среднее	Среднее	Min	Max	Среднее	Среднее	Бм/Чм, разы	Чм / Бм, %
- берингоморский гребешок	0,109	0,300	0,267	0,2	-	-	-	-	-	-
креветки, в том числе:	9,351	149,234	48,179	31,4	0	1,380	0,818	10,6	58,9	1,7
- углохвостая креветка	2,100	122,000	26,757	17,4	0	0,730	0,458	5,9	58,5	1,7
- северная креветка	5,100	36,000	18,100	11,8	0	0,085	0,017	0,2	1064,7	0,1
- шrimсы	0,797	6,284	3,322	2,2	0	0,650	0,343	4,4	9,7	10,3
крабы, в том числе:	19,459	80,794	47,007	30,4	0,400	25,600	6,303	81,7	7,5	13,4
- краб-стригун опилио	8,602	45,562	18,848	12,2	0,400	25,600	6,303	81,7	3,0	33,4
- синий краб	1,811	42,343	18,253	11,8	-	-	-	-	-	-
- краб-стригун Бэрда	2,052	10,584	4,992	3,2	-	-	-	-	-	-
- краб-стригун ангулятус	1,200	6,300	3,459	2,2	-	-	-	-	-	-
- волосатый пятиугольный краб	1,048	1,139	1,056	0,7	-	-	-	-	-	-
- колючий краб	0,400	0,400	0,400	0,3	-	-	-	-	-	-

Примечание. 1 – Берингово море, 2 – Чукотское море. Объекты рыболовства даны в порядке убывания осредненной промысловой биомассы в российских водах Берингова моря

(Gilbert, 1892) и навага, в сумме составляющие 4332 тыс. т, или 87,8% всех рыб.

В Чукотском море сырьевая база рыб достигает в среднем 189 тыс. т, что в 26,1 раза меньше аналогичных величин Берингова моря. Промысловая биомасса в чукотских водах формируется рыбами 6 семейств, среди которых абсолютно преобладают тресковые рыбы – в среднем 92,6% всех рыбных запасов (175 тыс. т). Прочие объекты возможного рыболовства (камбаловые, корюшковые, рогатковые, лососёвые и сельдёвые) не столь значительны в своём обилии. Среди отдельных видов рыб наибольшими запасами выделяются минтай (51,4% всей биомассы рыб), сайка *Boreogadus saida* (Lepechin, 1774) (41,2%), северная палтусовидная камбала *Hippoglossoides robustus* Gill & Townsend, 1897 и мойва *Mallotus villosus catervarius* (Pennant, 1784).

Если говорить о соотношении промысловых запасов рыб в западных частях Берингова и Чукотского морей, то их биомасса в чукотских водах составляет всего 3,8% от берингоморских запасов (табл. 1), что объяснимо более благоприятными условиями природной среды для гидробионтов в Беринговом море. Запасы тресковых, камбаловых, корюшковых, рогатковых в последнем водоёме больше в десятки раз (соответственно в 19,1; 23,5; 18,8 и 88,8 раза), лососёвых и сельдёвых рыб – в сотни и тысячи раз (соответственно в 345,1 и 5036,3 раза). При этом в силу относительной мелководности Чукотского моря и значительном его удалении от оптимумов обитания рыб

здесь нет промысловых скоплений белокорого и стрелозубых палтусов, некоторых массовых видов камбал, макруров, лососёвых, морских окуней и скатов, северного однопёрого терпуга *Pleurogrammus monopterygius* (Pallas, 1810) и угольной рыбы, образующих значимые запасы в берингоморских водах. Единственный вид, биомасса которого в Чукотском море выше в 13,7 раза, сайка, формирует основные скопления в арктических морях и лишь в отдельные годы в периоды высокой численности мигрирует в северо-западную часть Берингова моря [Николаев и др., 2008; Савин, 2021].

Беспозвоночные, в отличие от рыб, имеют меньшую промысловую биомассу, однако весьма востребованы промышленностью по причине отличных вкусовых качеств и соответственно максимальной прибавочной стоимости продукции из них. Ресурсы беспозвоночных западной части Берингова моря примерно в равных пропорциях распределяются между моллюсками, креветками и крабами (крабы объединены с крабоидами в промысловую группу «крабы») с преобладанием двух первых групп (соответственно 60 и 48 тыс. т), локализующихся преимущественно в Западно-Берингоморской зоне. Среди отдельных видов доминируют командорский кальмар *Berryteuthis magister* (Berry, 1913), углохвостая *Pandalus goniurus* Stimpson, 1860 и северная *P. borealis* Krøyer, 1838 креветки, синий краб *Paralithodes platypus* (Brandt, 1850) и краб-стригун опилио *Chionoecetes opilio* (O. Fabricius, 1788), а также брюхоногие моллюски или трубачи

**А.В. ДАТСКИЙ**

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАПАСОВ И ПРОМЫСЛА ВОДНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ В РОССИЙСКИХ ВОДАХ БЕРИНГОВА И ЧУКОТСКОГО МОРЕЙ  
И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИХ РАЦИОНАЛЬНОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ

**Таблица 2.** Осреднённая промысловая биомасса морских рыб и беспозвоночных по рыбопромысловым районам западной части Берингова моря по данным 1997-2022 гг.

**Table 2.** Average commercial biomass of marine fish and invertebrates for fishing areas of the western Bering Sea based on data from 1997-2022

Объект рыболовства (семейство, группа, вид, группа видов)	Район							
	Чукотская зона		Зап.-Берингоморская зона		Карагинская подзона		Западная часть Берингова моря	
	тыс. т	%	тыс. т	%	тыс. т	%	тыс. т	%
Тресковые, в том числе:	60,402	89,9	2688,525	73,3	594,826	49,7	3343,753	67,8
- минтай	11,507	17,1	2160,783	58,9	410,239	34,3	2582,529	52,4
- треска	46,827	69,7	495,912	13,5	79,913	6,7	622,652	12,6
- навага	0,046	0,1	28,174	0,8	104,674	8,7	132,893	2,7
- сайка	2,022	3,0	3,656	0,1	0	0	5,678	0,1
Сельдевые, в том числе:	0,062	0,1	405,534	11,1	359,920	30,1	765,515	15,5
- сельдь тихоокеанская	0,062	0,1	405,534	11,1	359,920	30,1	765,515	15,5
Долгохвостовые (макруры)	0	0	204,609	5,6	23,826	2,0	228,435	4,6
Камбаловые, в том числе:	0,015	0,02	166,389	4,5	45,261	3,8	211,665	4,3
- камбалы дальневосточные	0	0	92,302	2,5	37,696	3,2	129,998	2,6
- белокорый палтус	0,015	0,02	32,163	0,9	7,065	0,6	39,243	0,8
- стрелозубые палтусы	0	0	26,894	0,7	0	0	26,894	0,5
- черный палтус	0	0	15,029	0,4	0,500	0,04	15,529	0,3
Рогатковые (бычки)	6,208	9,2	134,353	3,7	5,833	0,5	146,394	3,0
Лососевые, в том числе:	0,014	0,02	13,166	0,4	130,727	10,9	143,907	2,9
- горбуша	0	0	4,062	0,1	114,360	9,6	118,422	2,4
- кета	0	0	7,505	0,2	11,649	1,0	19,154	0,4
- нерка	0	0	1,376	0,04	2,274	0,2	3,650	0,1
- гольцы	0,014	0,02	0,218	0,01	2,084	0,2	2,315	0,05
- кижуч	0	0	0,0004	0,00001	0,238	0,02	0,239	0,005
- чавыча	0	0	0,006	0,0002	0,122	0,01	0,128	0,003
Корюшковые, в том числе:	0,028	0,04	24,758	0,7	28,017	2,3	52,803	1,1
- мойва	0	0	24,144	0,7	20,525	1,7	44,669	0,9
- корюшки	0,028	0,04	0,613	0,02	7,492	0,6	8,134	0,2
Безрылые скаты (скаты)	0,460	0,7	22,728	0,6	1,835	0,2	25,023	0,5
Терпуговые, в том числе:	0	0	3,258	0,1	5,894	0,5	9,153	0,2
- северный однопёрый терпуг	0	0	3,258	0,1	5,894	0,5	9,153	0,2
Морские окунь, в том числе:	0	0	3,536	0,1	0,386	0,03	3,922	0,1
- собственно морские окунь	0	0	2,067	0,1	0,329	0,03	2,397	0,05
- шипощеки	0	0	1,469	0,04	0,057	0,005	1,525	0,03
Аноплопомовые, в том числе:	0	0	1,811	0,05	0,144	0,01	1,955	0,04
- угольная рыба	0	0	1,811	0,05	0,144	0,01	1,955	0,04
Морские рыбы в целом, тыс. т	67,190	100,0	3668,666	100,0	1196,668	100,0	4932,524	100,0
Морские рыбы в целом, %	1,4	-	74,4	-	24,3	-	100,0	-
Моллюски, в том числе:	0	0	55,441	38,7	4,180	36,0	59,621	38,5
- командорский кальмар	0	0	36,396	25,4	3,913	33,7	40,309	26,0
- трубачи	0	0	19,045	13,3	0	0	19,045	12,3
- берингоморской гребешок	0	0	0	0	0,267	2,3	0,267	0,2
Креветки, в том числе:	0	0	48,179	33,6	0	0	48,179	31,1
- углохвостая креветка	0	0	26,757	18,7	0	0	26,757	17,3

Объект рыболовства (семейство, группа, вид, группа видов)	Район							
	Чукотская зона		Зап.-Берингоморская зона		Карагинская подзона		Западная часть Берингова моря	
	тыс. т	%	тыс. т	%	тыс. т	%	тыс. т	%
- северная креветка	0	0	18,100	12,6	0	0	18,100	11,7
- шrimсы	0	0	3,322	2,3	0	0	3,322	2,1
Крабы, в том числе:	0	0	39,583	27,6	7,424	64,0	47,007	30,4
- краб-стригун опилио	0	0	14,572	10,2	4,276	36,9	18,848	12,2
- синий краб	0	0	17,708	12,4	0,545	4,7	18,253	11,8
- краб-стригун Бэрда	0	0	2,789	1,9	2,203	19,0	4,992	3,2
- краб-стригун ангулятус	0	0	3,459	2,4	0	0	3,459	2,2
- волосатый пятиугольный краб	0	0	1,056	0,7	0	0	1,056	0,7
- колючий краб	0	0	0	0	0,400	3,4	0,400	0,3
Беспозвоночные в целом, тыс. т	0	0	143,203	100,0	11,604	100,0	154,807	100,0
Беспозвоночные в целом, %	0	-	92,5	-	7,5	-	100,0	-
ВБР в целом, тыс. т	67,190	-	3811,869	-	1208,271	-	5087,330	-
ВБР в целом, %	1,3	-	74,9	-	23,8	-	100,0	-

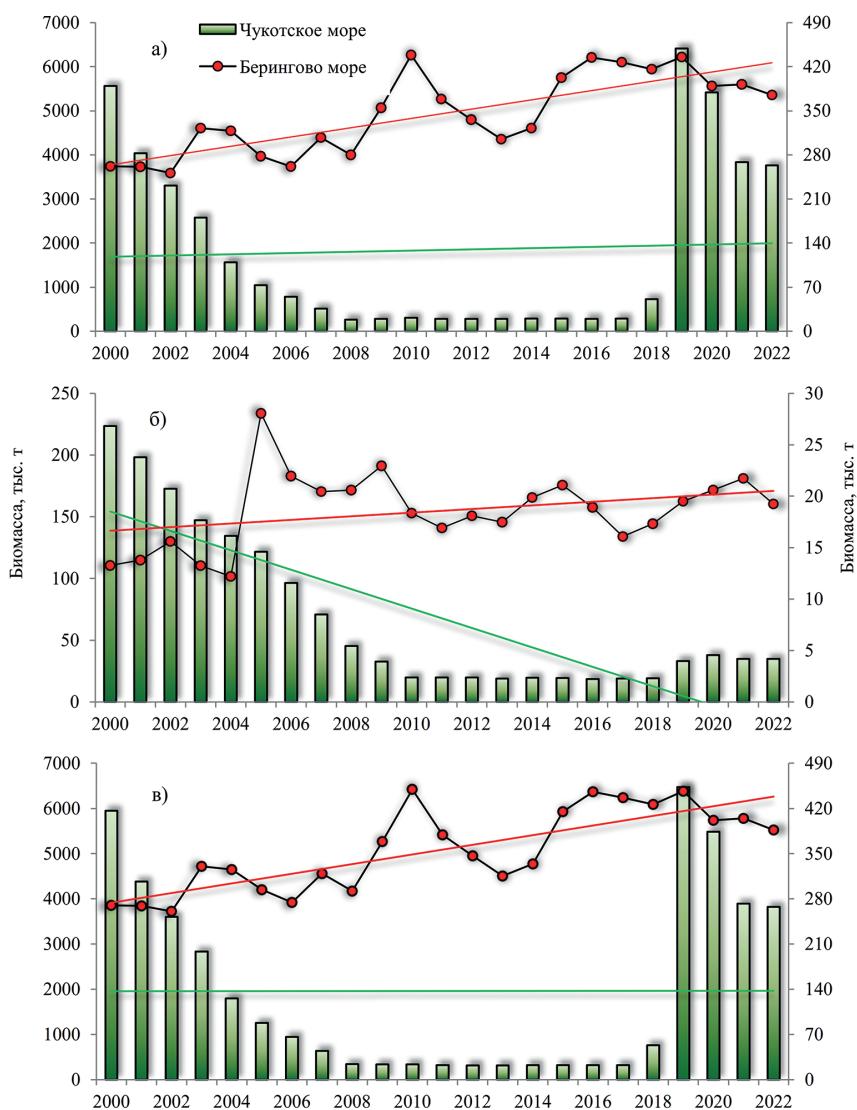
сем. Buccinidae, представленные преимущественно р. *Neptunea* (*N. beringiana* (Middendorff, 1848), *N. heros* (Gray, 1850)) и р. *Buccinum* (*B. plectrum* Stimpson, 1865, *B. oedematum* Dall, 1907) [Датский, Самойленко, 2021]. В сумме эти представители беспозвоночных формируют 91,3% (141 тыс. т) всей промысловой биомассы в берингоморских водах (табл. 1).

В российских водах Чукотского моря, в отличие от вод более низких широтных зон, среди промысловых беспозвоночных по биомассе доминируют крабы, представленные одним видом – крабом-стригуном опилио, составляющие в среднем 6,3 тыс. т, или 81,7% всех запасов беспозвоночных. Данный вид формирует здесь высокую биомассу при сравнительно мелких размерах: его промысловая мера по ширине карапакса не превышает 8 см (в Беринговом море – 10 см). Далее по убыванию запасов идут креветки, среди которых преобладают уголхвостая креветка и шrimсы (храбрый шrimс *Sclerocrangon ferox* (G.O. Sars, 1877), северный шrimс-медвежонок *S. boreas* (Phipps, 1774), козырьковый шrimс обыкновенный *Argis lar* (Owen, 1839), сабинея семикилевая *Sabinea septemcarinata* (Sabine, 1824)), а также трубачи (в основном *Neptunea heros*, *N. borealis* (Philippi, 1850), *Buccinum polare* Gray, 1839 с абсолютным доминированием первого вида [Датский, Самойленко, 2021].

Отметим отсутствие на чукотском шельфе характерных для смежного Берингова моря скоплений командорского кальмара, берингоморского гребешка *Chlamys beringiana* (Middendorff, 1849), синего, колючего *Lithodes brevipes* (H. Milne Edwards &

Lucas), 1841 и волосатого пятиугольного *Telmessus cheiragonus* (Tilesius, 1812) крабов, краба-стригуну Бэрда *Chionoecetes bairdi* Rathbun, 1924 (табл. 1). В том числе и поэтому сырьевая база беспозвоночных Чукотского моря существенно ниже берингоморских запасов (в 7,5; 58,9 и 99,9 раза меньше соответственно у крабов, креветок и моллюсков). При этом запасы краба-стригуна опилио здесь составляют около 33% от запасов Берингова моря или 25,1% всей промысловой биомассы (в среднем 25,2 тыс. т) этого вида в обоих морях в пределах российских вод.

Динамика запасов рыб и беспозвоночных рассматриваемых водоёмов претерпевает значительные изменения (табл. 1, рис. 1-6). В российских водах Берингова моря промысловая биомасса гидробионтов, помимо их более высоких оценок, поступательно росла с пиковыми значениями первых в 2010, 2016 2019 гг. (более 6200 тыс. т), вторых – в 2005, 2009, 2015 и 2021 гг. (более 175 тыс. т). С 2000 по 2022 гг. запасы морских рыб в этом водоёме выросли в 1,4 раза (с 3742 до 5360 тыс. т), беспозвоночных – в 1,5 раза (с 111 до 160 тыс. т). Основной ресурсный рост показали минтай, треска, горбуша, в меньшей степени навага, сельдь, дальневосточные камбалы, стрелозубые палтусы, кета, нерка, зубастая корюшка *Osmerus mordax dentex* Steindachner & Kner, 1870, морские окунь, угольная рыба, синий краб и командорский кальмар [Датский, Самойленко, 2021; Датский, 2023 а, б; рис. 2-4]. Учитывая значительное преобладание биомассы рыб над беспозвоночными, динамика первых и определяет изменчивость всех ВБР в обоих морях.



**Рис. 1.** Промысловая биомасса (тыс. т) массовых рыб (а), беспозвоночных (б) и ресурсов в целом (в) в российских водах Берингова и Чукотского морей в 2000-2022 гг. Чм – Чукотское море (вертикальная шкала справа), Бм – Берингово море (шкала слева). Прямыми линиями показаны тренды изменения запасов ВБР

**Fig. 1.** Commercial biomass (thousand tons) of common fish (a), invertebrates (b) and resources in general (v) in the Russian waters of the Bering and Chukchi seas in 2000-2022. Чм – Чукотский море (вертикальная шкала справа), Бм – Берингово море (шкала слева). Прямыми линиями показаны тренды изменения запасов ВБР

Показательным является тот факт, что при общем росте биомассы рыб в российских водах Берингова моря её динамика в пределах столь обширной акватории имеет существенные различия. Так, наибольший подъем их запасов (в 15,4 раза) наблюдался в Чукотской зоне: с 9,5 до 146,5 тыс. т соответственно в 2000-2005 и 2016-2021 гг. (табл. 3). В Западно-Берингоморской зоне и Карагинской подзоне их ресурсы выросли в 1,5 (с 3025,1 до 4575,9 тыс. т) и 1,2 (с 996,8 до 1218,0 тыс. т) раза. При этом в юго-западной части моря, в отличие от других районов, промысловая биомасса рыб в 2016-2021 гг. снизилась по сравнению с 2011-2015 гг. как в абсолютном, так

и в относительном выражении. В целом наблюдаемый с начала 2000-х гг. по настоящий момент основной рост запасов рыб обеспечили преимущественно тресковые, лососевые и долгохвостовые рыбы. На современном этапе, если сравнивать с 2011-2015 гг., в Чукотской зоне увеличились запасы тресковых, сельдевых, камбаловых и корюшковых рыб, снизилась биомасса бычков. В Западно-Берингоморской зоне рост обилия показали 8 из 11 семейств, за исключением сельдевых, корюшковых и терпуговых. В Карагинской подзоне тенденция к снижению промысловой биомассы отмечена у 6 семейств (тресковые, сельдевые, камбаловые, корюшковые, скаты и терпуговые),

**Таблица 3.** Распределение осреднённой промысловой биомассы (тыс. т) морских рыб по рыбопромысловым районам западной части Берингова моря и периодам исследований**Table 3.** Distribution of average commercial biomass (thousand tons) of marine fish by fishing areas of the western Bering Sea and study periods

Период	Район	Семейство										Морские рыбы в целом, тыс. т	Морские рыбы в целом, %	
		Тресковые	Сельдевые	Лососевые	Долгохвостовые	Камбаловые	Рогатковые	Корюшковые	Баеровые скаты	Терпуговые	Морские окуня			
2000-2005	Чз	1,415	0	0,008	0	0	7,603	0,010	0,460	0	0	0	9,496	0,2
	ЗБз	2405,482	89,833	5,719	197,333	125,959	137,608	37,685	17,927	4,296	2,446	0,837	3025,126	75,0
	Кп	315,412	493,333	54,080	20,000	56,660	4,473	42,235	2,325	7,771	0,506	0,058	996,853	24,7
	Бм, тыс. т	2722,309	583,167	59,807	217,333	182,619	149,684	79,930	20,712	12,067	2,953	0,894	4031,474	100,0
	Бм, %	67,5	14,5	1,5	5,4	4,5	3,7	2,0	0,5	0,3	0,1	0,02	100,0	-
2006-2010	Чз	17,517	0,155	0,013	0	0,004	8,195	0,010	0,460	0	0	0	26,354	0,6
	ЗБз	2255,828	551,625	7,428	198,200	160,423	159,735	9,718	25,014	4,478	2,903	0,710	3376,063	71,9
	Кп	869,604	226,000	96,293	20,000	45,009	4,473	18,632	1,800	8,102	0,405	0,049	1290,367	27,5
	Бм, тыс. т	3142,950	777,780	103,734	218,200	205,436	172,403	28,360	27,274	12,580	3,308	0,759	4692,784	100,0
	Бм, %	67,0	16,6	2,2	4,6	4,4	3,7	0,6	0,6	0,3	0,1	0,02	100,0	-
2011-2015	Чз	85,178	0,034	0,015	0	0,009	7,302	0,010	0,460	0	0	0	93,008	1,9
	ЗБз	2324,369	666,866	10,027	202,200	147,075	101,970	47,702	23,235	2,485	4,032	0,546	3530,507	71,2
	Кп	698,200	394,400	139,583	20,000	40,469	4,060	31,318	1,928	4,495	0,274	0,175	1334,901	26,9
	Бм, тыс. т	3107,748	1061,300	149,626	222,200	187,553	113,332	79,030	25,623	6,980	4,305	0,720	4958,416	100,0
	Бм, %	62,7	21,4	3,0	4,5	3,8	2,3	1,6	0,5	0,14	0,09	0,01	100,0	-
2016-2021	Чз	142,665	0,081	0,019	0	0,044	3,164	0,068	0,460	0	0	0	146,502	2,5
	ЗБз	3554,935	392,636	27,202	218,333	204,384	136,325	7,323	24,324	2,071	4,450	3,945	4575,929	77,0
	Кп	557,500	318,175	238,456	31,333	36,810	8,441	21,553	1,455	3,747	0,307	0,258	1218,035	20,5
	Бм, тыс. т	4255,100	710,892	265,677	249,667	241,238	147,930	28,945	26,239	5,818	4,758	4,203	5940,466	100,0
	Бм, %	71,6	12,0	4,5	4,2	4,1	2,5	0,5	0,4	0,1	0,08	0,07	100,0	-

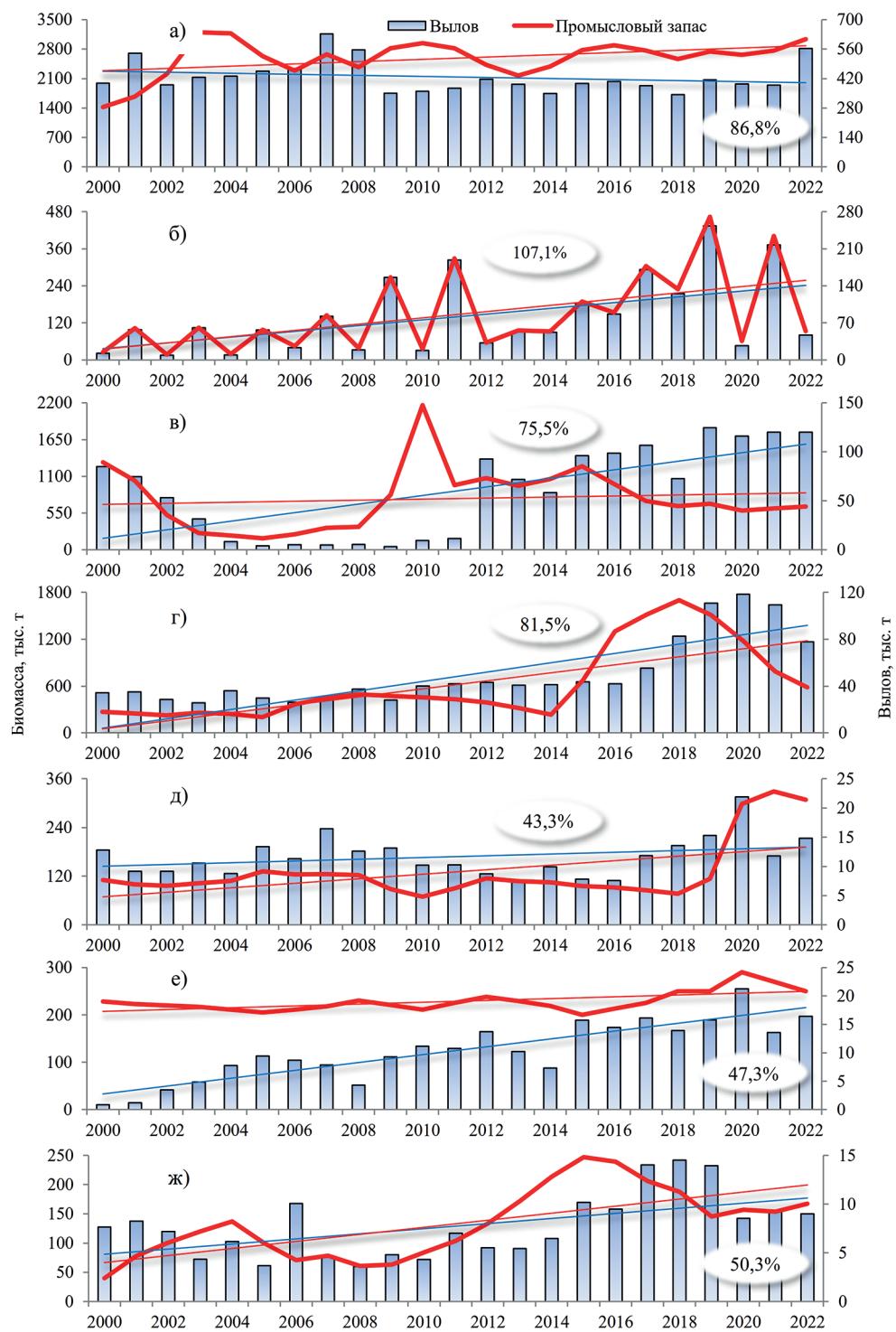
Примечание. Обозначения районов: Чз – Чукотская зона, ЗБз – Западно-Берингоморская зона, Кп – Карагинская подзона, Бм – западная часть Берингова моря. Семейства рыб даны в порядке убывания их осреднённой промысловой биомассы в российских водах Берингова моря в 2016-2021 гг.

у остальных ресурсов выросли (особенно значительно у лососевых рыб).

Ресурсы промысловых беспозвоночных локализуются в двух районах российских вод Берингова моря, в Западно-Берингоморской зоне и Карагинской подзоне, причём в первой находится от 86,7 до 97,2% всех запасов (табл. 4). Пик их суммарной биомассы в северо-западной части моря приходился на 2006-2010 гг. (168,9 тыс. т), затем к настоящему моменту она снизилась к уровню начала 2000-х гг. В Карагинской подзоне, запасы беспозвоночных в 2016-2021 гг., напротив, находились на своём максимуме (за счёт роста биомассы командорского кальмара и крабов-стригунов опилио и Бэрда). В целом по морю наблюдался рост промысловой биомассы моллюсков (каль-

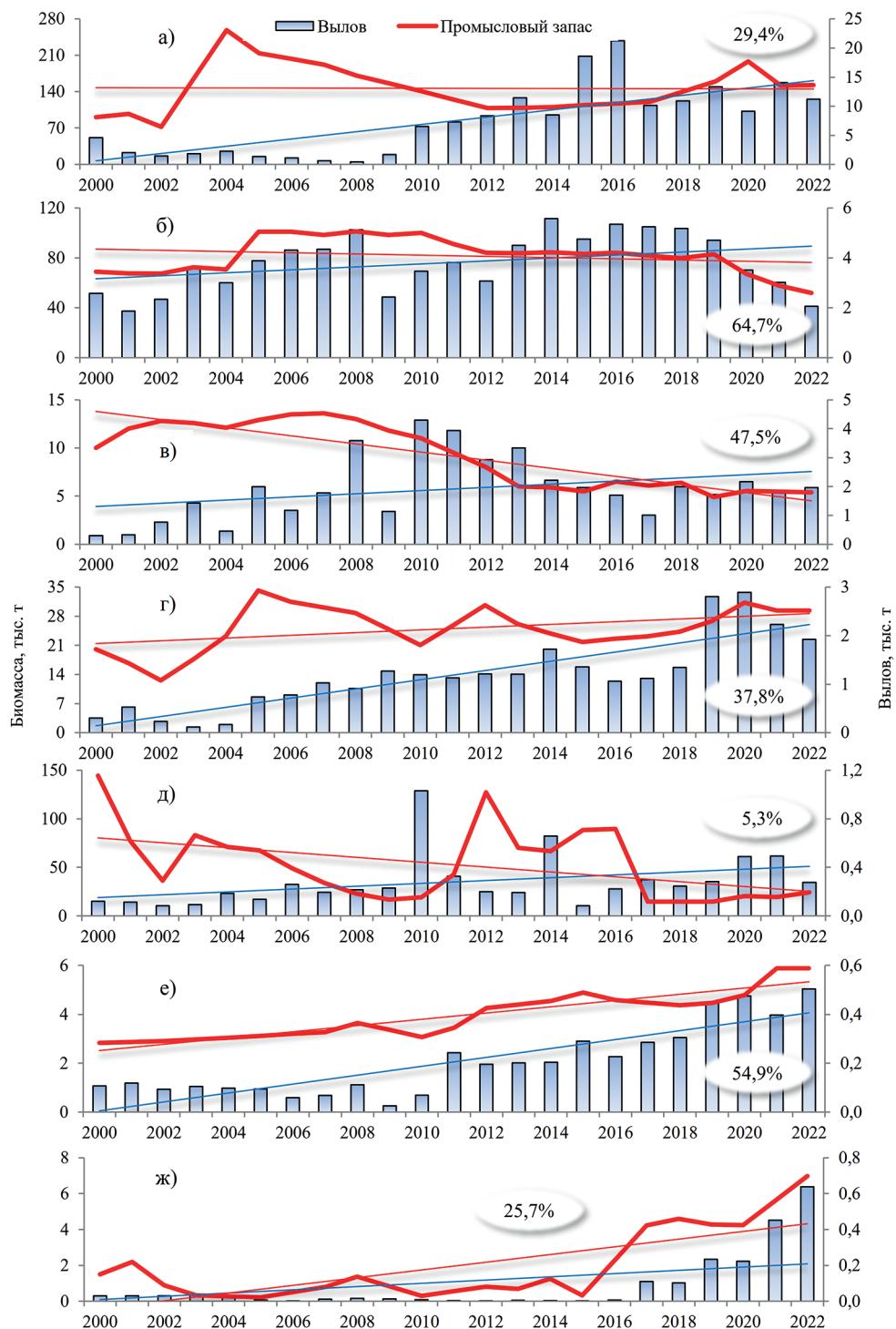
мар) и крабов (синий, крабы-стригуны) и снижение, особенно существенное в последние годы, запасов креветок (северной и уголхвостой).

Об изменении запасов ВБР в российских водах Чукотского моря можно говорить с определённой долей условности, учитывая нерегулярность проведения исследований в этой акватории (особенно по беспозвоночным). Тем не менее, динамика обилия морских рыб и беспозвоночных имеет определённое сходство (рис. 1). Биомасса морских рыб с наибольших значений в начале 2000-х гг. (390 тыс. т) снизилась к 2008 г. до 19 тыс. т. Лишь в 2018 г., после периода низких запасов, их обилие стало возрастать, достигнув в 2019 г. максимальных значений (449 тыс. т) за весь период исследований. Такие изменения рыбных ресурсов об-



**Рис. 2.** Промысловая биомасса и уловы (тыс. т) минтая (а), лососевых рыб (тихоокеанские лососи, голльцы) (б), сельди (в), трески (г), камбал (д), макрурусов (е) и наваги (ж) в российских водах Берингова моря в 2000-2022 гг. Прямыми линиями показаны тренды изменения запасов и уловов рыб, в овале осреднённый % освоения

**Fig. 2.** Commercial biomass and catches (thousand tons) of walleye pollock (a), salmonids (Pacific salmon, loaches) (б), Pacific herring (в), Pacific cod (г), makruruses (д), flounders (е) and saffron cod (ж) in Russian waters of the Bering Sea in 2000-2022. Straight lines show trends in changes in fish stocks and catches, the oval shows the average % of development



**Рис. 3.** Промысловая биомасса и уловы (тыс.т) бычков (а), палтусов (б), терпугов (в), скатов (г), корюшковых (мойва, корюшки) (д), морских окуней (морские окунь, шипошки) (е) и угольной рыбы (ж) в российских водах Берингова моря в 2000-2022 гг.  
Обозначения как на рис. 2

**Fig. 3.** Commercial biomass and catches (thousand tons) of sculpins (a), halibuts (б), greenlings (в), rays (г), smelts (Pacific capelin, smelts) (д), rockfishes (rockfishes, spikes) (е) and sablefish (ж) in Russian waters of the Bering Sea in 2000-2022.  
Designations as in fig. 2

**Таблица 4.** Распределение осреднённой промысловой биомассы (тыс. т) беспозвоночных по рыбопромысловым районам западной части Берингова моря и периодам исследований**Table 4.** Distribution of average commercial biomass (thousand tons) of invertebrates by fishing areas of the western Bering Sea and study periods

Период	Район	Группа			Беспозвоночные в целом, тыс. т	Беспозвоночные в целом, %
		Моллюски	Крабы	Креветки		
2000-2005	Чз	0	0	0	0	0
	ЗБз	34,910	20,885	70,678	126,473	94,7
	Кп	0,300	6,775	0,000	7,075	5,3
	Бм, тыс. т	35,210	27,660	70,678	133,548	100,0
	Бм, %	26,4	20,7	52,9	100,0	-
2006-2010	Чз	0	0	0	0	0
	ЗБз	57,926	38,456	72,484	168,866	97,2
	Кп	0,300	4,648	0,000	4,948	2,8
	Бм, тыс. т	58,226	43,104	72,484	173,814	100,0
	Бм, %	33,5	24,8	41,7	100,0	-
2011-2015	Чз	0	0	0	0	0
	ЗБз	67,300	40,314	41,967	149,581	96,1
	Кп	0,300	5,834	0,000	6,134	3,9
	Бм, тыс. т	67,600	46,148	41,967	155,715	100,0
	Бм, %	43,4	29,6	27,0	100,0	-
2016-2021	Чз	0	0	0	0	0
	ЗБз	62,359	58,526	16,578	137,463	86,7
	Кп	10,205	10,883	0,000	21,087	13,3
	Бм, тыс. т	72,564	69,409	16,578	158,550	100,0
	Бм, %	45,8	43,8	10,5	100,0	-

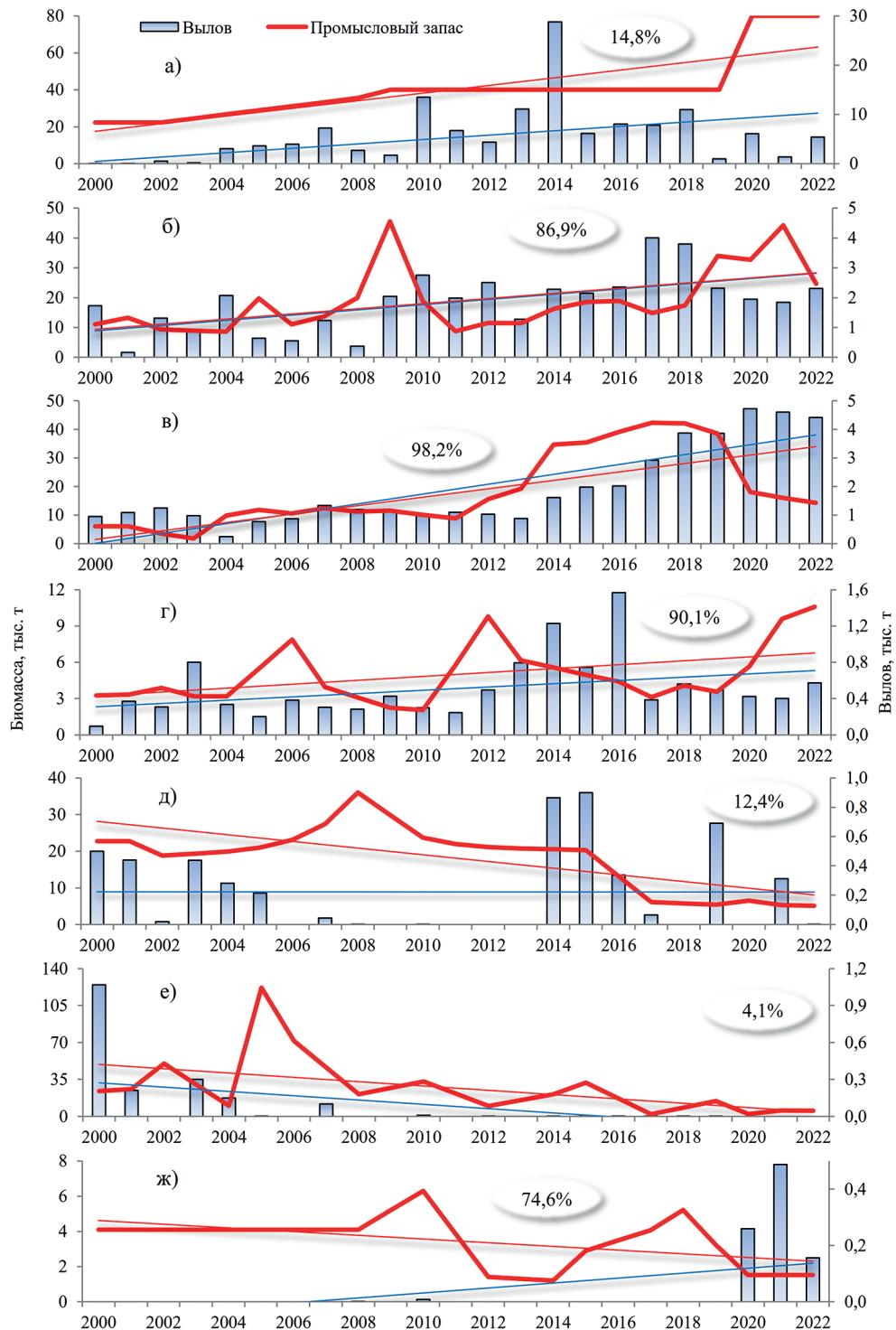
Примечание. Обозначения районов как в табл. 3. Группы беспозвоночных даны в порядке убывания их осредненной промысловой биомассы в российских водах Берингова моря в 2016-2021 гг.

условлены исключительно динамикой биомассы двух видов тресковых рыб – минтая (резкий рост в 2018-2020 гг.) и сайки (высокая биомасса в конце 1990-х гг. и последующее её падение к концу 2010-х гг.) (рис. 5 а). Из значимых рыбных объектов отметим также снижение к 2010 г. запасов камбаловых рыб, сформированных в преобладающей степени (97,3% всей биомассы) северной палтусовидной камбалой, и их существенный рост в 2019 г. (рис. 5 б).

Беспозвоночные, в отличие от рыб, не претерпевают столь резких колебаний биомассы. Относительно высокие их запасы в начале 2000-х гг. постепенно снизились до минимальных значений обилия в 2010-2018 гг. (2,2-2,4 тыс. т), а затем сменились некоторым ростом ресурсов в 2020-2022 гг. (4,2-4,6 тыс. т). Такая динамика явилась в основном следствием изменения биомассы краба-стригуна опилио (следует подчеркнуть, что подобный вывод получен на основе крайне редких и фрагментарных донных траловых съёмок, а, следовательно, промежуточные между съёмками значения его обилия могут отличаться от представ-

ленного в настоящей работе). С 2011 г. также отмечен небольшой подъем запасов углохвостой креветки и шrimсов (табл. 1, рис. 6).

Значительная сырьевая база рыб и беспозвоночных в западной части Берингова моря исторически благоприятствовала организации рыболовства в этой акватории. С развитием рыбной промышленности и повышением эффективности добычи в промысле здесь вовлекалось все большее число видов, а вылов нарастал [Датский, 2019 б; Буяновский и др., 2023]. Если в 1930-1950-х гг. добывали преимущественно треску, сельдь, навагу, горбушу, кету, нерку и синего краба, то на современном этапе количество объектов рыболовства существенно увеличилось. Так, с начала 2000-х гг. по настоящий момент уловы рыб находятся на своём максимуме, изменяясь от 469 до 972 тыс. т соответственно в 2010 и 2019 гг. (при средней величине 663 тыс. т). Рыболовство базируется на 14 видах или группах видов, среди которых наибольшие уловы формируют минтай, лососи, сельдь, треска и камбалы (рис. 2, 3). В среднем за исследо-



**Рис. 4.** Промысловая биомасса и уловы (тыс. т) командорского кальмара (а), краба-стригуна опилио (б), синего краба (в), краба-стригуна Бэрда (г), северной креветки (д), углохвостой креветки (е) и краба-стригуна ангулятуса (ж) в российских водах Берингова моря в 2000-2022 гг. Обозначения как на рис. 2

**Fig. 4.** Commercial biomass and catches (thousand tons) of Commander squid (a), snow crab (б), blue crab (в), bairdi tanner crab (г), northern shrimp (д), humpy shrimp (е) and triangle tanner crab (ж) in Russian waters of the Bering Sea in 2000-2022. Designations as in fig. 2

дуемый период вылов этих рыб составил 630 тыс. т, или 95% всех уловов. Отметим здесь лидирующую роль минтая на промысле: он и в 1970-1990-е гг.

составлял основу рыбных уловов [Датский, 2019 б], и в 2000-е гг. достигал в среднем до 64% общего вылова (около 427 тыс. т).

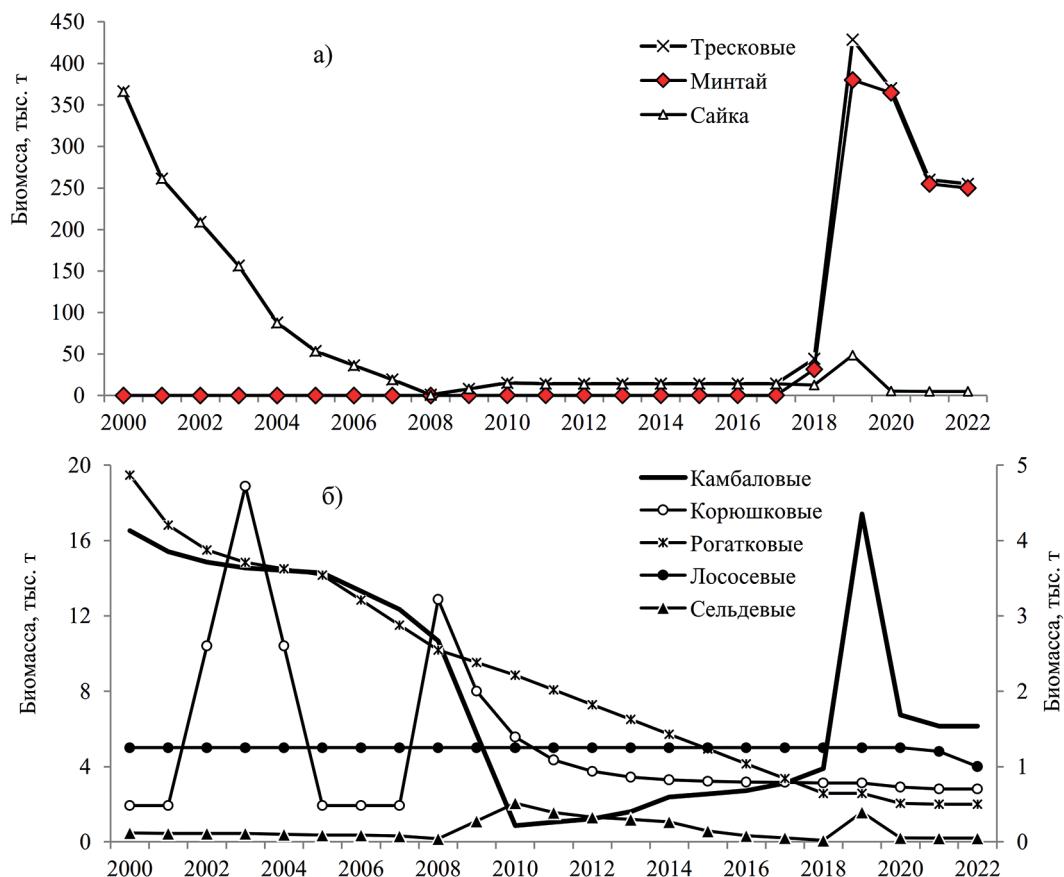


Рис. 5. Промысловые запасы (тыс. т) тресковых (а) и прочих рыб (б) в российских водах Чукотского моря в 2000-2022 гг. На нижнем рисунке камбаловые – вертикальная шкала слева, прочие семейства – шкала справа

Fig. 5. Commercial stocks (thousand tons) of cods (a) and other fish (b) in Russian waters of the Chukchi Sea in 2000-2022. In the bottom picture, flounders – vertical scale on the left, other families – scale on the right



Рис. 6. Промысловая биомасса (тыс. т) беспозвоночных (краб-стригун опилио – вертикальная шкала слева, прочие – справа) в российских водах Чукотского моря в 2000-2022 гг.

Fig. 6. Commercial biomass (thousand tons) of invertebrates (snow crab – vertical scale on the left, others – on the right) in Russian waters of the Chukchi Sea in 2000-2022

Рост запасов практических всех рыбных объектов рыболовства в российских водах Берингова моря способствовал увеличению их вылова (рис. 2, 3). Особен-

но значительно с 2010 г. возросли уловы тихоокеанских лососей (с 17 до 125 тыс. т и с 156 до 252 тыс. т соответственно в чётные и нечётные годы), сельди

(с 10 до 125 тыс. т), трески (с 40 до 118 тыс. т), макруусов (с 11 до 21 тыс. т), наваги (с 4 до 15 тыс. т), в меньшей степени – бычков, скатов, корюшек и угольной рыбы. Наибольшее освоение выделенных ресурсов морских рыб наблюдалось у тихоокеанских лососей (107,6%), минтая (86,8%), трески (81,5%) и сельди (75,5%), наименьшее – у бычков (29,4%), угольной рыбы (25,7%) и корюшковых рыб (5,3%).

Уловы беспозвоночных за исследуемый период также возросли: если в 2000-2003 гг. они находились в пределах 2,3-4,4 тыс. т в год, то к 2014 г. достигли своего максимума – 34,8 тыс. т, несколько снизившись к концу 2010-х гг. (рис. 4). При среднемноголетнем вылове 10 базовых объектов промысла в объёме 10,5 тыс. т основная добыча пришлась на 3 вида: командорского кальмара (55,9% вылова), синего краба (18,2%) и краба-стригуна опилио (17,7%). Наибольший вылов этих видов наблюдался соответственно в 2014 (28,8 тыс. т), 2020 (4,7 тыс. т) и 2017 (4,0 тыс. т) гг. Эпизодическими уловами отмечались углохвостая (до 1,1 тыс. т) и северная (до 0,9 тыс. т) креветки и краб-стригун ангулятус *Chionoecetes angulatus* Rathbun, 1924 (до 0,5 тыс. т). Лишь в отдельные годы вылов берингоморского гребешка, колючего краба и трубачей достигал от 1 до 3 т, а шrimсы и волосатый краб промыслом не были охвачены. Наибольшее освоение у востребованных промыслом беспозвоночных в последние 23 года выявлено у синего краба (98,2%), крабов-стригунов Бэрда и опилио (соответственно 90,1 и 86,9%), наименьшее – у командорского кальмара (14,8%), северной и углохвостой креветок (соответственно 12,4 и 4,1%).

Если с начала использования сырьевой базы ВБР в Беринговом море прошло уже более 100 лет [Датский, 2019 б], то в Чукотском море промысел существует только с 2021 г., когда впервые был организован лов минтая [Датский и др., 2022 б]. Надо отметить, что до этого момента возможности промысла в чукотских водах ограничивались только одним объектом рыболовства, сайкой, которую с 2005 г. ежегодно можно было вылавливать в объёме 3,9-90,0 тыс. т [Datsky, 2015; Датский и др., 2022 а]. Однако нестабильность скоплений и вследствие этого низкая рентабельность промысла данной рыбы не способствовали началу её добычи. На настоящий момент запасы сайки находятся на минимальном уровне за весь период наблюдений, что делает ещё более иллюзорными перспективы её промысла.

В отличие от сайки, минтая в пределах чукотского шельфа можно привести в качестве примера оперативной организации рыболовства в новом районе

промысла [Датский, 2023 а]. В 2018 г. в ходе траловых исследований Чукотского моря были обнаружены промысловые скопления минтая, в 2019-2020 гг. подтверждены его значительные объёмы, что позволило ввести данный вид в список объектов ОДУ [Датский и др., 2022 б]. В 2021 г. впервые организованный лов двумя судами позволил добыть более 4 тыс. т этой тресковой рыбы, а в 2023 г. уже 8 судов достигли её вылова в объёме 19,7 тыс. т (62% освоения), что сопоставимо с добычей вида в российских водах Японского моря (19,6 тыс. т). Результативность промысла минтая в чукотских водах в ближайшей перспективе будет находиться в зависимости от ледовой обстановки и уровня миграции рыб из Берингова моря, обусловленной прогревом водных масс и формированием достаточной кормовой базы.

Потепление климата в 2010-х гг. стало причиной изменения среды обитания гидробионтов, что привело к росту миграционной активности в северном направлении минтая, трески, сельди, горбуши, мойвы, молоди нерки в Беринговом море, аномальному росту запасов минтая в западной части Чукотского моря [Датский и др., 2022 а]. В то же время слабая информированность о биологии гидробионтов и их доступности в Чукотском море, его удалённость и суровые климато-океанологические условия, финансовая затратность экспедиций, приводящая к их нерегулярности, оставляют множество нерешённых вопросов в отношении возможного промысла ВБР. Дальнейшее изучение биоресурсной составляющей здесь, как, впрочем, и в Беринговом море, необходимо расширить за счёт вовлечения в исследования мелководной (бухты, лагуны, устья рек) и глубоководной частей моря, расширения сроков работ, установления мест и сроков нереста рыб, использования различных типов судов и орудий лова.

В заключение данного раздела следует отметить, что существующее состояние запасов ВБР и их добычи в российских водах Берингова и Чукотского морей указывает на отсутствие негативного воздействия промысла на большинство гидробионтов [Андронов, 2016; Датский и др., 2021; Буяновский и др., 2023; Датский, 2023 а]. Перспективы рыболовства в этих водоёмах будут зависеть от естественных абиотических (климато-океанологических, гидробиологических) и биотических (пищевая обеспеченность, конкурентная межвидовая борьба, воздействие хищников и паразитов) факторов, влияющих на численность отдельных видов, а также внутреннего (экзогенного) состояния популяций рыб и беспозвоночных (физиологическая, генетическая устойчивость).

*Рекомендации по обеспечению  
рационального использования сырьевой  
базы водных биологических ресурсов  
Берингова и Чукотского морей*

Резюмируя сказанное выше, важно отметить, что ресурсы ВБР в российских водах Берингова и Чукотского морей в целом находятся в относительно благоприятном состоянии, их динамика в основном обусловлена изменчивостью среды обитания и флюктуациями численности региональных группировок гидробионтов, что позволяет проводить полномасштабный промысел на обширной акватории с высоким уровнем освоения рекомендованных уловов. В то же время в рамках процесса «запас → ОДУ/РВ → промысел и его регулирование → запас» можно выделить базовые направления по повышению эффективности использования сырьевой базы ВБР этих морей. Это уточнение общих и промысловых запасов рыб и беспозвоночных в ходе планируемых в перспективе исследований с последующей корректировкой объемов вылова гидробионтов, повышение результативности действующего промысла и совершенствование нормативной базы рыболовства. Ниже в рамках этих направлений приведём ряд мер, которые помогут поддержать уловы ВБР на максимально возможном уровне в течение длительного периода времени при эксплуатации их запасов без риска нанесения им непоправимого ущерба.

*Уточнение ресурсной базы ВБР.* Говоря об уточнении ресурсной базы ВБР в пределах морских акваторий, надо понимать, что процесс этот будет постоянным, без достижения ярко выраженного конечного результата. Обусловлено это тем, что морские воды имеют открытые значительные пространства с разнообразными, меняющимися сезонно и ежегодно условиями природной среды, прямым и косвенным образом оказывающих влияние на водных обитателей, которые также не отличаются стабильностью и подвержены, помимо внешнего воздействия и взаимовлияния друг на друга, фактору саморегуляции. Осложняется это и тем, что морские воды зачастую удалены от населённых пунктов и имеют значительные глубины со сложным рельефом дна, что затрудняет исследования глубоководных и активно мигрирующих (часто из акватории других государств) объектов. Одним словом, морских гидробионтов нельзя totally обловить и подсчитать, как, к примеру, в небольшом замкнутом водоёме (озеро, пруд).

В то же время указанные выше особенности морских акваторий несут в себе и значительные перспективы для выявления их ресурсного потенциала.

Понятно, что основным условием для этого является регулярное проведение научных исследований. Именно по результатам различного рода научно-исследовательских работ открываются новые промысловые районы и виды, возникают предпосылки к возможному росту ресурсов и уловов уже используемых объектов рыболовства. Из значимых результатов исследований 2000-х гг. отметим обнаружение в юго-западной части Чукотского моря промысловых концентраций минтая и краба-стригана опилио [Орлов и др., 2019; Датский и др., 2022 б]. В берингоморских прибрежных водах Чукотки и на свале наваринского района выявлены локальные скопления белокорого палтуса, пятиугольного волосатого и колючего крабов, шrimсов и трубачей [Исупов, 2000; Мясников и др., 2002; Лобакин и др., 2003; Датский, Андронов, 2007; Батанов и др., 2017], северной креветки [Андронов, 2016]. Для минтая и северной креветки была проведена процедура их квотирования (отметим здесь, что креветка в 2013 г. была выведена из перечня объектов ОДУ), что в итоге позволило достичь их суммарного вылова в объёме соответственно 42,4 тыс. т (в 2021-2023 гг.) и 5,1 тыс. т (в 2000-2023 гг.). Для белокорого палтуса даны рекомендации по его уловам на мелководье с добавлением их к общему ОДУ вида [Датский, Андронов, 2007], остальные вышеуказанные объекты поставлены в лист ожидания рыбной отрасли и с определённой долей вероятности будут востребованы в перспективе.

Научные исследования, особенно при их регулярности и охвате обширных акваторий шельфа и материкового склона, помимо ввода в промысел новых объектов и районов лова, дают возможность своевременно отслеживать флюктуации запасов традиционно эксплуатируемых рыб и беспозвоночных. Это особенно актуально в ходе климатических изменений в пределах акваторий Берингова и Чукотского морей, происходящих в отдельные периоды: чередование тёплых (2002-2005, 2014-2019 гг.) и холодных (2006-2013 гг.) лет [Датский и др., 2022 а], начало похолода с 2022 г. и т. д. Ежегодный анализ изменчивости абиотических факторов среды и гидробионтов позволяет представить новые оценки их ОДУ и РВ с двухлетней заблаговременностью и вносить корректировки в уже утверждённые цифры прогнозного вылова ВБР. К примеру, в рамках этой процедуры только по морским рыбам (без лососей) суммарный их вылов в 2016-2023 гг. в западной части Берингова моря вырос на 404,8 тыс. т, в том числе минтая, сельди и трески соответственно на 232,8; 125,5 и 40,0 тыс. т. В меньших объёмах возросли уловы камбал, скатов, стрелозубых палтусов, угольной рыбы, корюшек, быч-

ков и наваги: соответственно на 1,70; 1,56; 1,47; 0,93; 0,407; 0,31 и 0,12 тыс. т. За эти же годы увеличены объёмы вылова синего краба на 2,077 тыс. т, крабов-стригунов опилио и Бэрда – соответственно на 0,525 и 0,079 тыс. т. За один только 2023 г. в Карагинской подзоне скорректированы уловы горбуши на 60 тыс. т, нерки – на 1 тыс. т [Канзепарова и др., 2024].

Также отметим, что рост числа экспедиционных исследований в Чукотском море (в 1990-2009 гг. было проведено 5 комплексных траловых съёмок, в последнее десятилетие столько же, 3 из которых в 2018-2020 гг.) позволил своевременно зафиксировать в его юго-западной части значительные запасы мигрирующего из Берингова моря миттая и начать их осваивать. Добавим, что корректировки объёмов прогнозируемого вылова ВБР на текущий год дополняют утверждённые ранее оценки ОДУ и РВ гидробионтов при условии получения новых данных из районов промысла и (или) при изменении (дополнении) методических основ расчётов запасов и регулирования промысла.

В последнем случае именно в совместной работе биологов-«сырьевиков» и специалистов по математическому моделированию открываются значимые перспективы в создании новых подходов к прогнозированию запасов и управлению промыслом отдельных объектов [см. напр. Ильин и др., 2014; Буяновский, 2020 а, б; Шевляков и др., 2021; Кулик и др., 2023] и гидробионтов в целом [Малкин, 1999; Бабаян и др., 2018; Буяновский и др., 2023]. Как правило, модельные расчёты в рамках разных методов показывают неодинаковые результаты, которые во многом зависят от биологических и промысловых характеристик запасов гидробионтов и их популяционного статуса. Так, исходя из состояния отдельных запасов миттая [Булатов, 2015; Варкентин и др., 2021], крабов и крабоидов [Буяновский и др., 2023], используются различные методы и изменяются нормы изъятия и прогнозные оценки вылова. К примеру, в наваринском районе Берингова моря в случае перехода с «предосторожного подхода» на концепцию максимального устойчивого улова (MSY) в 2022 г. ОДУ миттая составил бы не 591 тыс. т, а 960 тыс. т, т. е. в 1,6 раза больше [Булатов, Васильев, 2023]. В этом же районе моря крайне важно знание популяционного состава трансграничных видов (миттай, треска, сельдь, палтусы, угольная рыба), так как расчёты для одной или нескольких совместно нагуливающихся группировок приведут к разным прогнозным оценкам их вылова и различиям в режиме эксплуатации. Здесь можно привести данные по охотоморскому миттю, когда при рассмотрении в качестве единой популяции расчётные величины

ОДУ этого вида были на 20% выше, чем оценка ОДУ в случае его подразделения на отдельные группировки внутри Охотского моря [Орлова и др., 2022].

Нельзя не отметить, что в модельных расчётах базовое значение имеет информация по возрасту гидробионтов, которая применяется для построения общей годовой матрицы их вылова по возрастным группам. Неправильные представления о возрасте ВБР могут привести к некорректным оценкам годового пополнения и численности младших когорт, занижению вклада старших возрастных групп, искажению коэффициентов смертности и величины промысловой меры, что в общем итоге формирует ошибочное представление о величине запасов рыб и беспозвоночных и соответствующее нерациональное их использование. В связи с этим особое внимание необходимо уделять корректному определению возрастного состава эксплуатируемых промыслом видов. К примеру, проведённые в этом направлении исследования по разным возрастрегистрирующим структурам миттая [Буслов, 2009], северного однопёрого терпуга [Золотов и др., 2006] и чёрного палтуса [Бадаев и др., 2023] показали, что при оценке по чешуе возраст рыб занижается по сравнению с оценкой по отолитам, особенно значительно у старшевозрастных особей. Это в конечном итоге может приводить к завышению максимального коэффициента эксплуатации объектов рыболовства [см. напр. Кулик и др., 2022]. Актуальность определения возраста рыб по отолитам возрастает и с учётом того факта, что различия в их форме и массе часто используются для выявления популяционной организации региональных группировок [Орлов, Афанасьев, 2013; Мазникова и др., 2017], о важности которой для расчётов запасов ВБР было сказано выше.

Влияние неучтённого вылова на оценку состояния запасов и перспектив промысла водных биоресурсов является ещё одной из значимых проблем в отечественной практике регулирования рыболовства. Большинство методов оценки запасов основано на предположении, что имеющаяся информация об уловах является точной, хотя и может содержать довольно значительные случайные ошибки. К сожалению, это допущение выполняется далеко не всегда, и на практике взятые из промысловой статистики значения уловов зачастую оказываются существенно ниже величин фактического вылова [Бабаян и др., 2014]. Причина этого кроется именно в неучтённых уловах, главной составляющей которых является незаконный, несообщаемый и нерегулируемый (ННН) промысел, к которому можно отнести сокрытие уловов или прямое браконьерство, неконтролируемые выбросы мелкоразмерных особей и видов прилова,

использование недостоверных коэффициентов расхода сырца на единицу готовой продукции. К примеру, среднегодовой нелегальный вылов тихоокеанских лососей во внутренних водоёмах и прибрежных акваториях Камчатского полуострова в 2002-2007 гг. составлял 55 тыс. т [Запорожец и др., 2008], минтая у западной Камчатки в 2000-2002 гг. – 47 тыс. т, корфо-карагинской сельди в 1995-2002 гг. – 83 тыс. т [Буслов и др., 2006]. Причём у минтая урожайной генерации 1995 г. выбросы молоди и некондиционной рыбы составили более 850 млн экз., что сопоставимо со средним по численности годовым классом, а у сельди только из урожайного поколения 1993 г. за семь лет промысла было выловлено и не учтено около 115 млн экз. Данные с ярусного и тралово-снурреводного промысла за период с 1993 по 2016 гг. показали, что в 2000-е гг. рыбопромысловые суда стали лучше учитывать в уловах ценные промысловые объекты, однако малоценные виды прилова по-прежнему выбрасываются в значительных количествах (суммарные выбросы достигают 1,2 млн т в год) [Бадаев, 2018, 2020].

Использование в расчётах неточных данных по уловам ВБР приводит к заведомо заниженным оценкам их запасов, а следовательно и ОДУ/РВ. В связи с этим существует необходимость в разработке эффективных методов оценки неучтённого вылова и их использования в процедурах оценки состояния запасов в ходе совершенствования методологии современных ресурсных исследований. Главным условием здесь является наличие дополнительной информации об эксплуатируемых запасах ВБР и их промысле, состав и качество которой обуславливает выбор метода и модели в рамках теории рыболовства [Бабаян и др., 2014]. При этом заблаговременная оценка возможных выбросов и включение их объёмов в прогнозные оценки вылова в ряде случаев может привести к снижению объёмов вылова, рекомендуемых к изъятию [Буслов и др., 2006]. Наглядным примером тому может служить «нахлебничество» косаток и объедание улова придонными гидробионтами при длительных застоях донных сетей и ярусов, что приводит к потере добычи или товарного вида и занижению сообщаемого улова, который рассчитывается от выпущенной продукции. Так, средние потери от выедания косатками чёрного палтуса в Охотском море составляют соответственно 37-60% в донных жаберных сетях и 9-17% в донном ярусе [Николенко, 2010; Корнев и др., 2014], в Беринговом море и прилегающих водах – 9-28% в ярусе [Peterson et al., 2013]. При сетном лове наблюдаются также потери равношипого краба *Lithodes aequispinus* (Benedict, 1895) и краба стригуна-ангюлятуса – до 20-25% каждого вида [Николенко, 2010]. Эти объёмы вы-

лова необходимо учитывать при обосновании ОДУ чёрного палтуса и вышеуказанных крабов.

Определённые перспективы в случае изменения подходов к расчётом запасов и их уловов имеются и для сборных групп объектов рыболовства или второстепенных видов. Так, для камбал Западно-Беринговоморской зоны с 2020 г. предложено проводить расчёты РВ на основе доминирующего вида на промысле, северной двухлинейной камбалы, а возможный прилов «второстепенных» камбал осуществлять в рамках их многолетнего вклада в промысловые уловы [Золотов и др., 2023]. Это предполагает исключение перелова двухлинейной камбалы и в перспективе может повысить освоение четырёхбугорчатой и палтусовидных камбал, т. е. в общем итоге произойдёт оптимизация по взаимодействию эксплуатируемых запасов камбал и их многовидового промысла.

Ещё один пример изменения подходов к расчётом запасов и объёмов вылова касается американского и азиатского стрелозубых палтусов. С 2005 г. их биомасса в Беринговом море в целом и в его северо-западной части в частности выросла и стала превышать запасы более востребованных рыбной промышленностью чёрного и белокорого палтусов [Датский и др., 2014; Золотов и др., 2022]. При этом объёмы РВ стрелозубых палтусов в Западно-Беринговоморской зоне ограничивались 1,53 тыс. т, а чёрного и белокорого палтусов – соответственно 3,15 и 2,95 тыс. т (табл. 5). Низкие прогнозные уловы стрелозубых палтусов объясняли отсутствием их специализированного промысла и до 2019 г. рассчитывали, исходя из их прилова к чёрному палтусу и прочим рыбам материального склона (при промысле чёрного и белокорого палтусов, трески и минтая прилов стрелозубых палтусов составляет соответственно 1,5-30,0; 0,3-11,2; 0,1-0,7 и 0,1% [Золотов, 2021; Датский и др., 2023 б]). В то же время при условии использования в расчётах биомассы стрелозубых палтусов и среднего возраста массового достижения их половой зрелости 8 лет [Датский и др., 2014] их ежегодные уловы могли достигать 10-18 тыс. т (табл. 5). Используемые с 2019 г. для обоснования запасов стрелозубых палтусов в Западно-Беринговоморской зоне «немодельные» методы, объединяемые в категорию DLM (Data Limited Methods), в большей степени отражают сформировавшийся спрос рыбной промышленности на добычу этих видов, нежели реальные возможности промысла. К примеру, расчётные величины РВ палтусов на 2021-2024 гг. с использованием пакета DLMtool, реализованного в программной среде R [Бабаян и др., 2018], находятся в пределах 1,3-1,5 тыс. т, что сравни-

**Таблица 5.** Биомасса стрелозубых, чёрного и белокорого палтусов по данным траловых съёмок в северо-западной части Берингова моря и их ОДУ и РВ [по: Датский и др., 2014, с дополнением]**Table 5.** Biomass of arrowtooth flounder, Kamchatka flounder, Greenland halibut and Pacific halibut according to trawl surveys in the northwestern Bering Sea and their TAC and RC [based on: Datsky et al., 2014, with additions]

Объект рыболовства	1996	1999	2001	2002	2005	2008	2010	2012	2015	2017	2019	2020
Общая биомасса, тыс. т												
Все виды рыб	3268,9	969,7	1871,9	1645,7	2561,4	2798,2	1005,7	4469,0	1370,1	-	3536,2	-
Стрелозубые палтусы	4,1	10,5	10,0	10,0	91,2	107,4	106,4	61,2	27,9	68,8	93,3	82,6
Чёрный палтус	10,0	3,5	6,9	11,0	23,5	25,0	27,8	40,7	36,7	28,0	18,0	13,7
Белокорый палтус	12,7	10,1	1,8	2,8	3,7	14,4	10,7	34,0	20,0	12,9	10,6	9,0
Доля в общей биомассе рыб, %												
Стрелозубые палтусы	0,1	1,1	0,5	0,6	3,6	3,8	10,6	1,4	2,0	-	2,6	-
Чёрный палтус	0,3	0,4	0,4	0,7	0,9	0,9	2,8	0,9	2,7	0,6	0,5	6,3
Белокорый палтус	0,4	1,0	0,1	0,2	0,1	0,5	1,1	0,8	1,5	0,3	0,3	4,1
ОДУ/РВ, тыс. т												
Стрелозубые палтусы*	1,5/0,7	0,3/1,8	0,6/1,7	0,5/1,7	0,38/15,2	0,45/17,9	0,45/17,8	0,45/10,2	0,53/4,7	0,84/11,5	1,53/15,6	1,53/13,8
Чёрный палтус	2,0	1,1	1,5	1,5	1,9	3,15	1,5	1,5	1,5	1,5	1,61	1,29
Белокорый палтус	2,0	1,0	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,95	2,2

Примечание. \* – до черты – расчёт по прилову, после черты – расчёт по биомассе.

мо с объёмами их вылова по прилову и значительно меньше возможных уловов по биомассе.

Оценка ресурсного потенциала гидробионтов тесно увязана с правильной работой орудий лова и последующей адекватной интерпретацией полученных результатов. Это ещё одно важное направление в исследовательской работе, которому зачастую не уделяется должное внимание. В качестве примера можно привести данные донных траловых съёмок в северо-западной части Берингова моря, когда оценки обилия морских рыб в 1999, 2001 и 2002 гг. по сравнению с 1996 и 2004 гг. оказались заниженными в шесть раз. Дальнейшее изучение причин этого показало [Датский, Андronов, 2007], что низкие биомассы рыб, вероятно, обусловлены не естественными их флюктуациями в смежные годы, а применением траловых досок с повышенной распорной силой при коротких кабелях. В последующих исследованиях были использованы уже унифицированные орудия лова. Помимо этого, съёмы 2012 и 2014 гг. в Беринговом море показали различия в оценке численности и биомассы морских рыб в зависимости от горизонтального раскрытия донного трала (использование измеренного раскрытия в каждом тралении или среднего раскрытия по результатам всех тралений) [Захаров и др., 2013; Захаров, Емелин, 2016]. Дальнейшие работы [Захаров и др., 2019] в целом предложили решение проблемы расчёта горизонтального раскрытия трала в зависимости от параметров траления, однако пересчёт ре-

урсов гидробионтов в зависимости от работы траловых систем осуществляется исследователями не всегда.

Помимо конструктивных особенностей орудий лова, используемых в ходе изучения численности ВБР, важнейшим параметром является их уловистость, определяемая через коэффициент уловистости ( $K_y$ ). Краткий обзор по данному вопросу показал [Яржомбек, Датский, 2014], что этот показатель видоспецифичен и рассчитывается на основе сравнения с результатами подводных наблюдений, ТВ-, фото- и видеорегистрации. Определения  $K_y$  очень различны и неточны, поэтому численность и биомасса гидробионтов, рассчитанные на основании траловых уловов, далеки от действительности.  $K_y$  других орудий лова (снурреп-водов, ярусов, ловушек, сетей) определяются на основании сравнения с  $K_y$  тралов, поэтому еще более некорректны. Таким образом, довольно серьёзные многолетние, хотя и сравнительно немногочисленные, исследования в области промышленного рыболовства в симбиозе с прикладной рыбоводственной наукой не привели к должному результату. Причём, не лучшие результаты получены и в странах, в которых финансовые инвестиции в изучение биоресурсов больше. К примеру, в США численность и биомасса рыб в пределах национальной юрисдикции в силу отсутствия надёжной доказательной базы приводится с  $K_y$  равным единице, с целью непричинения ущерба эксплуатируемым популяциям биоресурсов.

Сложившаяся ситуация с определением уловистости орудий лова представляет собой одну проблему с двумя аспектами. С одной стороны, заниженные оценки величин сырьевой базы рыболовства, а то, что рыбо-продуктивность ДВ морей гораздо выше, чем это декларировали, – уже доказанный факт [Шунтов, 2001, 2010; Шунтов и др., 2010], позволили в той или иной степени сохранить чрезмерно эксплуатируемые в 1990-х гг. популяции рыб и беспозвоночных (минтай, крабы, морские ежи). Ведь не секрет, что действующий в тот период нелегальный промысел зачастую изымал от одного и более годовых объёмов ОДУ пользующихся спросом на рынке «валютоёмких» объектов [Буслов, Варкентин, 2000; Камчатский краб..., 2005<sup>5</sup>; Буслов и др., 2006; Шевляков, 2013]. С другой стороны, отсутствие близких к реальности оценок ВБР не позволяет в полной мере привести количество рыбопромыслового флота в соответствие существующей сырьевой базе, что чревато возможными негативными последствиями для рыболовства Дальнего Востока и России в целом.

При этом можно и нужно ставить вопрос об оценке численности и биомассы гидробионтов в несколько ином ракурсе (не умаляя, естественно, традиционных исследований). Если уловистость орудий лова используется для оценки численности гидробионтов, и величины уловов сравниваются с показателями, полученными разными техническими способами, то возможно в перспективе вообще отказаться от применения орудий лова для решения этих задач. Примером могут служить методы визуальной, фотографической и аэро-визуальной регистрации лососей и сельди [Свиридов и др., 2022; Метелёв и др., 2023], ультразвуковой регистрации ходовой и покатной нерки [Дегтев и др., 2012], акустические исследования сайки, минтая и прочих рыб [Кузнецов и др., 2006; Шевченко и др., 2006; Николаев и др., 2008; и др.]. Эти методы, в отличие от методов, связанных с использованием орудий лова, практически не влияют на естественное поведение рыб. А ведь известно [Левашов, 2010; De Robertis, Hangard, 2013], что даже приближение судна влияет на местоположение, глубину и агрегацию косяков рыб, а недоучёт численности, к примеру, минтая на глубинах 0-100 м при этом может превышать 40% [Кузнецов и др., 2017].

Новые методы учёта морских гидробионтов позволяют дать более точную оценку их запасов. Так, при помощи интеграции в расчёты площадным методом акустических параметров скоплений минтая в северо-восточной части Охотского моря в виде коэффициента акустической плотности ( $K_{ap}$ ) можно

скорректировать его численность и биомассу. В исследуемый период (2017-2020 гг.) применение  $K_{ap}$  к результатам донных траловых съёмок показало снижение величины общего запаса рыб в 2017, 2019 и 2020 гг. и его увеличение в 2018 г. от начальных расчётных значений [Шейбак и др., 2023]. При этом расхождения по численности и биомассе минтая достигали 33% и более.

В завершение раздела по уточнению ресурсной базы ВБР отметим, что исследования только траловыми орудиями лова зачастую не позволяют достоверно учесть численность и биомассу гидробионтов в силу их сезонных и межгодовых миграций, различий в распределении молоди и взрослых особей, невозможности работы тралов на малых и больших глубинах и сложных грунтах. В этом плане дополнительную важную информацию несёт изучение альтернативными орудиями лова. Среди удачных примеров таких исследований приведём применение донных жаберных сетей и ярусов при облове чёрного и белокорого палтусов [Пальм и др., 1999 а, б; Датский, Андronов, 2007; Орлов и др., 2011], ловушек различных конструкций в отношении чёрного палтуса, угольной рыбы, лососей и креветок [Сеславинский, Аверков, 2009; Афанасьев и др., 2014; Мазникова и др., 2015; Мизюркин и др., 2020], снуррревода для рыб и крабов [Золотов и др., 2012; Кондрашенков, Иванов, 2012], закидных неводов и ставных сетей для рыб прибрежного комплекса [Ким, Измятинский, 2017]. Разные орудия лова (траблы, ловушки, драги, притраловые сети) используют, а также привлекают водолазов для оценки запасов крабов на различных стадиях развития, гребешков, трубачей и морских ежей [Овсянников, Сидяков, 2006; Бажин, Степанов, 2012; Островский и др., 2014; Ботнев, 2023]. В ряде случаев такие исследования позволяют уточнить размерно-возрастную структуру видов и их локальных группировок, обнаружить и оконтурить скопления половозрелых особей и молоди, оценить селективность орудий лова, скорректировать численность пополнения и биомассу промысловых гидробионтов, представить адекватные оценки ОДУ и РВ и др. Если при этом ещё будут работать современные научные малошумные и экономичные суда, аналогичные лучшим зарубежным [Левашов, 2010], с разнообразным исследовательским оборудованием, то учёт гидробионтов выйдет на более совершенный уровень, и сырьевая база ВБР предсказуемо возрастёт.

*Повышение результативности действующего промысла. Динамика добычи морских водных биологических ресурсов обусловлена взаимодействием факторов внешней среды и человеческой деятельности (прежде всего, интенсивностью рыболовства). Ве-*

<sup>5</sup> Камчатский краб - 2005 (путинный прогноз). 2005. Владивосток: ТИНРО-Центр. 58 с.

личина уловов рыб и беспозвоночных определяется как их состоянием и доступностью, так и величиной промысловых усилий, которые, в свою очередь, зависят от технических и прочих возможностей рыбохозяйственных организаций, интереса к различным объектам рыболовства в конкретных акваториях, определяемого локальным спросом и исторически сформировавшейся или современной конъюнктурой рынка.

Ранее для Берингова моря было показано (рис. 2-4), что освоение рекомендованных к вылову

объектов рыболовства в большинстве своём оставляет желать лучшего. Ещё более наглядным это представляется из данных табл. 6 и рис. 7, где приведены масштабы недоиспользования ресурсов, исходя из суммарных данных 2000-2022 гг. Представленные материалы показывают, что из всех ВБР только тихоокеанских лососей облавливают с должной эффективностью. При этом превышение их прогнозных оценок выло-ва во многом обусловлено особенностями проведения лососевой промыслы (в ходе ежегодного промысла

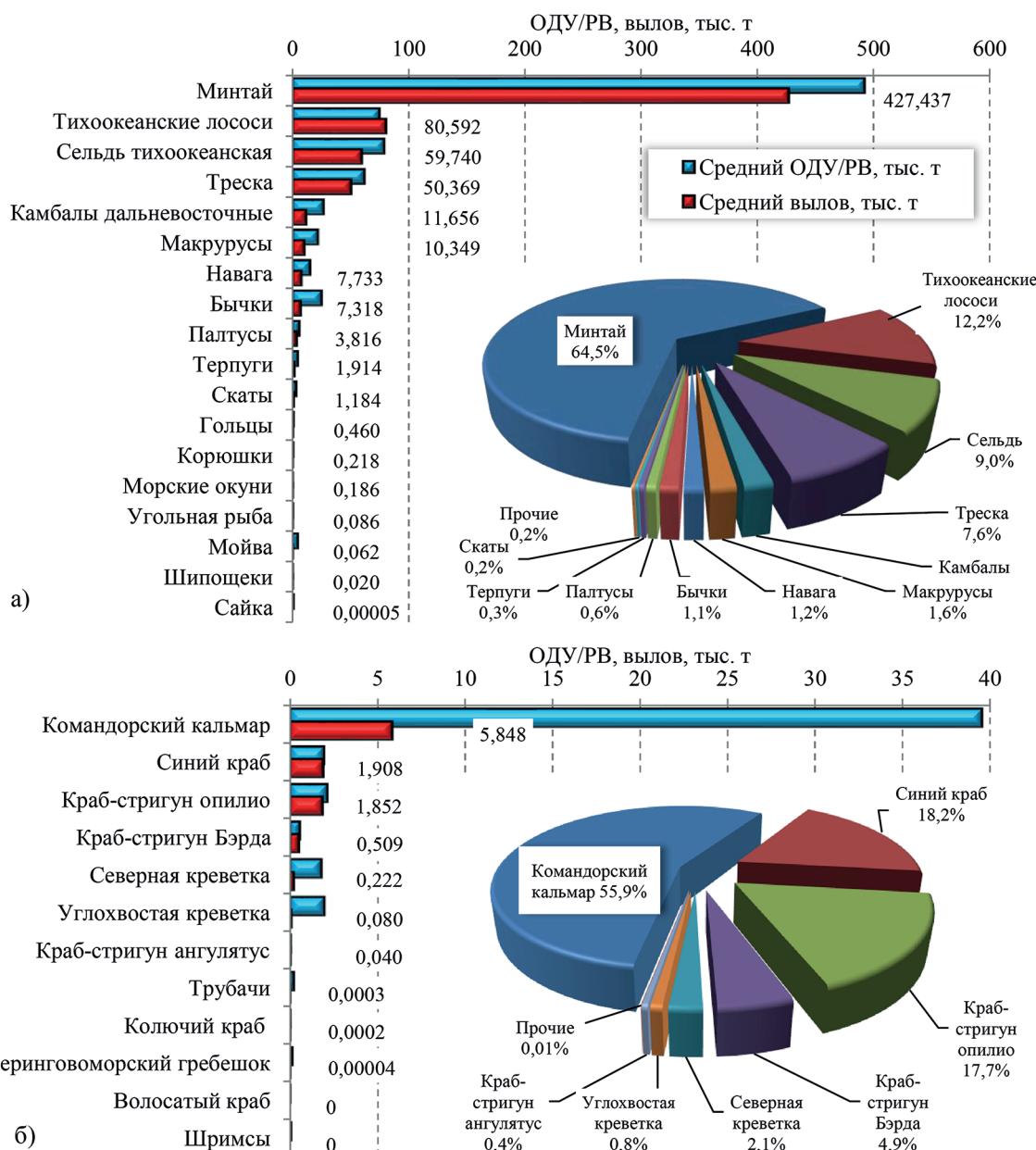


Рис. 7. Осредненные состав уловов (%) и распределение прогнозного и фактического вылова (тыс. т) морских рыб (а) и беспозвоночных (б) в российских водах Берингова моря с 2000 по 2022 гг.

Fig. 7. Average composition of catches (%) and distribution of predicted and actual catches (thousand tons) of marine fish (a) and invertebrates (b) in Russian waters of the Bering Sea for the period from 2000 to 2022

**Таблица 6. Суммарные прогнозные и фактические уловы морских рыб и беспозвоночных, их недооносование (тыс. т) и стоимость продукции первого предъявления невыловленных ресурсов (млн руб.) в российских водах Берингова моря по данным 2000-2022 гг.****Table 6. Total forecast and actual catches of marine fish and invertebrates, their underdevelopment (thousand tons) and the cost of production of the first presentation of uncaught resources (million rubles) in the Russian waters of the Bering Sea according to data from 2000-2022**

Объект рыболовства	Суммарный ОДУ/РВ, тыс. т	Суммарный выплов, тыс. т	Недооносование, тыс. т	Стоимость 1 кг, руб. <sup>1</sup>	Стоимость млн руб.
Минтай	11328,770	9831,062	1497,708	110	164748
Треска	1421,670	1158,497	263,173	195	51319
Камбалы дальневосточные	618,710	268,080	350,630	105	36816
Сельдь тихоокеанская	1820,662	1374,030	446,632	80	35731
Макрурысы	503,200	238,022	265,178	125	33147
Скаты	72,046	27,225	44,821	450	20169
Бычки	572,290	168,316	403,974	40	16159
Терпуги	106,161	44,015	62,146	240	14915
Палтусы	135,709	87,757	47,952	240	11508
Навага	353,557	177,865	175,692	55	9663
Мойва	105,176	1,417	103,759	90	9338
Угольная рыба	7,720	1,983	5,737	730	4188
Корюшки	15,207	5,018	10,189	330	3362
Гольцы	17,808	10,572	7,236	230	1664
Сайка	18,510	0,001	18,509	65	1203
Морские окунь	6,573	4,269	2,304	150	346
Шипопеки	2,027	0,453	1,574	150	236
Тихоокеанские лососи	1723,397	1853,618	-130,220	180 <sup>2</sup>	-23492
<b>Все рыбы</b>	<b>18829,192</b>	<b>15232,200</b>	<b>3576,993</b>	<b>-</b>	<b>391021</b>
Командорский кальмар	910,000	134,503	775,497	220	170609
Углохвостая креветка	45,090	1,844	43,246	380	16433
Северная креветка	41,353	5,110	36,243	270	9786
Трубачи	5,118	0,007	5,111	1250	6389
Краб-стригун опилио	49,028	42,585	6,443	680	4381
Берингоморской гребешок	3,063	0,001	3,062	650	1990
Шrimсы	1,445	0	1,445	1100	1590
Синий краб	44,684	43,895	0,789	1500	1183
Краб-стригун Бэрда	13,004	11,713	1,291	680	878
Колючий краб	0,430	0,006	0,425	1400	594
Волосатый краб	0,253	0	0,253	1300	329
Краб-стригун ангулягус	1,222	0,911	0,311	700	218
<b>Все беспозвоночные</b>	<b>1114,690</b>	<b>240,577</b>	<b>874,114</b>	<b>-</b>	<b>214380</b>

Примечание. 1 – данные FishNet.Ru (<https://www.fishnet.ru/>) на декабрь 2023 г., 2 – осредненная стоимость тихоокеанских лососей представлена с учетом видового соотношения в уловах. Синим цветом выделены квотируемые объекты (ОДУ), оранжевым – неквотируемые объекты (РВ), сиреневым – объекты смешанного режима использования

рекомендованный вылов оперативно корректируется в зависимости от величины подходов рыб в реки. Для прочих объектов ресурсная база используется не полностью, а в некоторых случаях объёмы недолова весьма значительны даже среди массовых видов российского промысла (минтай, сельдь, треска, камбалы, навага, палтусы, терпуги, командорский кальмар, крабы-стригуны). Общее недоосвоение морских рыб составило 3577 тыс. т (19,0% от рекомендованного объёма), беспозвоночных – 874 тыс. т (78,4%). При использовании оптовых цен продукции первого предъявления в ценах декабря 2023 г. общая стоимость неосвоенных ресурсов ВБР по предварительным расчётом оценивается соответственно в 391,0 и 214,4 млрд рублей (табл. 6). Причём, указанные выше стоимости относятся в основном к продукции первичной переработки (мороженая рыба и крабы без разделки, рыба без головы, моллюски замороженные и др.). В случае глубокой переработки объектов промысла и их производных (копчёные, солёные рыбопродукты, филе, фарш, икра, рыбные палочки, консервы и др.) финансовая оценка недолова существенно возрастёт.

Здесь надо отметить, что, несмотря на значительные потенциальные величины съёма рыбопродукции в российской части Берингова моря, по многим видам ВБР отсутствует или наблюдается слабая заинтересованность рыбопромышленников по их освоению и дальнейшему использованию. В основном это неквотируемые, т. е. рекомендованные в режиме РВ, объекты промысла, такие как сайка, мойва, угольная рыба, бычки, корюшки, скаты (неосвоение их прогнозного вылова изменяется от 62,2 до 100,0%), все беспозвоночные, за исключением синего краба и крабов-стригунов (85,2-100,0%) (табл. 6). Такое состояние промысла вышеуказанных гидробионтов обусловлено многими объективными и субъективными причинами (разреженные скопления и значительные флюктуации численности видов, затратность рыбопромысловых операций, отсутствие современных технологий добычи и переработки сырья и рыночного спроса на него и др.). Здесь в большей степени увеличение объёма вылова ВБР будет зависеть от способности создания искусственных концентраций рассеянных в толще воды и на дне гидробионтов, повышения уловистости существующих и внедрение новых орудий лова, умения управлять поведением объектов промысла [см. напр. Байталюк и др., 2015; Кузнецов и др., 2023], формирования эффективного использования многовидовых сообществ с созданием привлекательного для пользователей рынка потребления.

Подобные рекомендации актуальны и для традиционных, как правило, массовых объектов рыболов-

ства (минтай, сельдь, тихоокеанские лососи, треска, палтусы, навага, камбалы, терпуги, кальмар и крабы). Однако для таких объектов в первую очередь необходимо количество рыбопромыслового флота привести в соответствие существующей сырьевой базе. Применение на промысле современных специализирующихся на конкретных объектах промысловых судов с усовершенствованными орудиями лова и технологическим оборудованием для переработки сырца позволит увеличить уловы рыб и беспозвоночных, повысит выход продукции и её товарное качество. В общем итоге с меньшими производственными затратами будет получен лучший результат по освоению доступной сырьевой базы.

В качестве наглядного примера экономической эффективности такого рыболовства можно привести использование двух географически изолированных, но при этом важнейших для России рыбопромысловых запасов: минтая Охотского и Берингова морей. Проведённое исследование [Шевченко, Датский, 2014] показало, что основную роль в эксплуатации ресурсов этого вида играют крупнотоннажные траулеры-процессоры: у американской стороны в восточной части Берингова моря – суда типа «Ocean Rover», «American Triumph», у российской стороны в Охотском море – траулеры типа БАТМ «Пулковский Меридиан» (проект 1288) или МРТК типа «Содружество». При этом технические и производственные параметры таких судов и эффективность использования уловов минтая за сопоставимый период времени (2005-2010 гг.) существенно различались не в пользу российских траулеров. Последующий анализ промысла в охотоморских и берингоморских водах выявил, что слабая техническая оснащённость и избыточность рыбопромыслового флота привели к тому, что запасы минтая Охотского моря оказались практически «размазаны» среди многочисленных «ресурсопользователей» и использовались с чрезвычайно низкой производительностью основных производственных фондов, если исходить из суточного изъятия наиболее массовых типов рыбодобывающих судов. В дальнейшем это сказалось и на ассортименте производимой из этой тресковой рыбы продукции и её стоимости (табл. 7, 8).

Не сильно изменилась ситуация и в настоящее время: количество судов на промысле минтая в сезон «А» в 2024 г. по-прежнему достигает 100 единиц,<sup>6</sup> из которых около 60 крупнотоннажных. При этом по дан-

<sup>6</sup> Сводки с промысла: вылов минтая и сельди растёт – свежие уловы бесперебойно доставляют в порт и далее расходятся по регионам страны. <https://fish.gov.ru/news/2024/03/19/svodki-s-promysla-vylov-mintaya-i-seldi-rastet-svezhie-ulovy-besperbojno-dostavlyayut-v-port-i-dalee-rashodyatsya-po-regionam-strany/>. 19.03.2024 г.

**Таблица 7.** Эффективность промысла минтая по данным российского и американского рыболовного флота [по: Шевченко, Датский, 2014]**Table 7.** Efficiency of walleye pollock fishing according to the Russian and American fishing fleets [according to: Shevchenko, Datsky, 2014]

Параметр	Страна (район промысла)	
	РФ (Охотское море)	США (Берингово море)
Ресурс минтая, тыс. т	774	523
Кол-во компаний, ед.	17	8
Кол-во судов, ед.	100 (62 КТФ + 38 СТФ)	16 КТФ
Численность работников, чел.	6 000	1 718
Осреднённый суточный вылов, т	40	250
Вылов на 1 б.-рт	2,5 т	10,4 т
Энерговооружение	1,0 кВт/1 б.-рт	1,9 кВт/1 б.-рт
Прилов, %	от 8,0	1,0
Стоимость сырца за т, долл. США	991	235

**Таблица 8.** Продукция из минтая по данным российского и американского промысла в 2010 г. и ее стоимость в 2009 г. [по: Шевченко, Датский, 2014]**Table 8.** Pollock products according to Russian and American fisheries in 2010 and their cost in 2009 [according to: Shevchenko, Datsky, 2014]

Параметр	Страна	
	РФ	США
Ресурс минтая в 2010 г., тыс. т	1720	813
Производство филе, тыс. т (% от всей продукции)	30 тыс. т (9,5%)	115 тыс. т (35,0%)
Производство мороженого минтая, тыс. т (% от всей продукции)	864 тыс. т (90,0%)	52 тыс. т (4,0-6,0%)
Производство икры, тыс. т	28-35	12-20
Стоимость продукции в 2009 г., млн долл. США	579	1066

ным 2016-2021 гг. производство продукции с высокой степенью переработки (филе, фарш, печень консервированная, мука кормовая) выросло [Городничев, 2023], однако её доля в общем объёме продукции из минтая, производимой на судах, оставляет желать лучшего.<sup>7</sup> В качестве дополнения отметим также, что и ассортимент продукции из данной рыбы, выпускаемой в России в настоящее время, существенно меньше, нежели был в 1970-1980 гг., когда ПО «Дальморепродукт» производило 41 вид продукции (17 видов консервов, 14 видов мороженой и иной продукции) [Зверькова, 2016]. Сходные проблемы наблюдаются и по другим объектам рыболовства. Для улучшения освоения традиционных объектов промысла здесь видится ввод в эксплуатацию новых и модернизация существующих судов, а также совершенствование

ние технологий переработки ВБР (стимулирование выпуска и увеличение производства продукции глубокой переработки, расширение её ассортимента, использование видов прилова и отходов производства, разработка современных требований и ГОСТов на продукцию, снижение затрат на переработку и производство).

Особое значение приобретает экономическая составляющая в функционировании рыбохозяйственного комплекса, которая даёт представление о существующих механизмах формирования затратной части производственного процесса, связанного с эксплуатационными расходами задействованных судов рыбопромыслового флота, оплатой труда экипажей и береговых бригад, налоговыми отчислениями и др., а также показывает основные векторы накопления финансовых ресурсов в рыболовстве за счёт реализации морепродуктов на оптовых рынках. На практике это означает вывод определённой доли финан-

<sup>7</sup> Российский вылов минтая в 2023 году стал рекордным. <https://fishnews.ru/news/49129>. 26.01.2024 г.

совых ресурсов (в виде прибыли и не только) из сложившейся системы промышленного рыболовства или, наоборот, привлечение и вложение части полученной прибыли в расширение рыбопромысловой деятельности, если в этом есть необходимость, а также привлечение дополнительных финансовых ресурсов извне. В данном случае возрастает роль биоэкономических исследований [см. напр. Бородин и др., 2010; Шевченко, Датский, 2014; Датский, Самойленко, 2021; Зверев и др., 2024], формирующих и расширяющих представления о возможностях промысла ВБР, рентабельности их добычи и востребованности для целевых групп населения. Актуальной должна стать фраза: «Добывать реальное желаемое, прочее делать таковым».

В качестве примера можно привести сложившуюся ситуацию с мезопелагическими рыбами (7 видов), биомасса которых в российских водах Дальнего Востока достигает 46 млн т (из них 6 млн т приходится на Берингово море) и которых можно считать как потенциальный резерв рыболовства [Бочаров, 2004; Шунтов, 2016]. В свете острой необходимости разработки отечественных технологий кормов и повышения их качества для целей аквакультуры, такие рыбы вполне могли бы быть использованы, учитывая существующие технологии их переработки, разработанные преимущественно в 1990-е гг. [Харенко и др., 2019]. Однако практика показывает, что они никогда не были (и, судя по всему, в ближайшей перспективе не будут) задействованы регулярным промыслом по причине рассеянности их скоплений по большой площади воды и мелких размеров, что требует разработки специальных габаритных тралов с высокой селективностью [Жуков, 2010]. В то же время в качестве реальной альтернативы можно предложить использовать ресурсы преимущественно шельфовых бычков (более 90% запасов в пределах глубин менее 200 м), биомасса которых относительно высока – 834 тыс. т по всему Дальнему Востоку [Шунтов, 2022], до 258 тыс. т – в пределах российских вод Берингова моря (табл. 1). Они постоянно и массово встречаются приловом в ходе добычи базовых объектов рыболовства [Датский и др., 2023 б], при этом имеют высокую биологическую и пищевую ценность, что позволяет считать их перспективными видами промысла [Матвеев, Терентьев, 2023]. Определённые успехи возможны и при более интенсивном использовании рыбной промышленностью запасов макрурусов и скатов, а также бельдюговых и липаровых рыб, имеющих относительно высокие биомассы [Шунтов, 2022].

Значительные перспективы в рамках эффективного освоения сырьевой базы ВБР прогнозируются при условии решения вопроса по использованию видов

прилова при специализированном и ином промысле (масштабы потерь в ДВ бассейне приведены ранее). Отметим здесь, что все существующие в западной части Берингова моря промыслы в основном являются многовидовыми и характеризуются значимым снижением уловов за счёт неиспользования прилова (выбросы, ненадлежащее использование и др.). Это может приводить к искажению реального промыслового воздействия на гидробионты и негативно влиять на динамику их численности. Так, полученные ранее расчёты показали [Датский и др., 2023 б], что при донном траловом промысле, ориентированном на треску, на 53 т этого вида приходится около 20 т минтая, 7 т камбал, по 5 т терпугов и палтусов. Аналогичный снурреводный промысел при облове 56 т трески позволяет освоить 24 т минтая и 10 т камбал, а при ярусном лове приловом к 77 т трески добываются 10, 5 и 3 т соответственно палтусов, бычков и минтая. Сходная ситуация наблюдалась и по другим видам и орудиям лова. Даже при специализированном промысле минтая на его условные 81-89 т может быть выловлено 6-9 т сельди, 2-3 т кальмара и 1-2 т трески. Очевидно, что учёт современных данных по соотношению объектов рыболовства в различных орудиях лова в разрешении на добычу (сблокированные квоты) значимо повысит рентабельность лова не только базовых видов рыболовства, но и объектов прилова, и улучшит уровень научного обеспечения прогнозирования уловов ВБР. Опять же это возможно при наличии рыночного спроса на виды прилова, создании благоприятных условий их переработки на судах и/или береговых перерабатывающих базах и использовании современных технологий переработки с учётом ценности сырца. Предварительные исследования показали [Бадаев, 2011], что использование всего улова, включая малоценные виды (в частности, замораживание прилова и его транспортировка на производственные мощности на берегу для дальнейшего производства рыбной продукции), экономически выгодно для рыбодобывающих предприятий. Это особенно важно на фоне стабильно растущих спроса и цены на рыбную муку и рыбий жир на мировых и отечественных рынках. В целом, наилучшим решением проблемы приловов в условиях действующего промысла следует признать полное взвешивание и учёт уловов всех ВБР до их поступления в переработку.

Ещё одно направление по повышению эффективности использования ресурсной базы рыболовства – внедрение новых способов добычи гидробионтов и усовершенствование существующих и внедрение новых промышленных орудий лова. Наглядный пример – активное развитие с 2016 г. нового вида добы-

чи минтая с использованием наливных судов, оборудованных охлаждаемыми RSW-трюмами (Refrigerated Sea Water) большого объёма, для транспортировки улова на берег для переработки. Пойманная рыба закачивается в охлаждаемые трюмы непосредственно из разноглубинного трала, находящегося в воде, что позволяет использовать тралы больших размеров и получать за промысловую операцию более высокие уловы. Стимулом для использования наливных судов в водах южных Курильских островов послужили модернизация и введение в эксплуатацию рыбоперерабатывающих береговых заводов с возможностью суточной переработки более 5 тыс. т сырца. Уловы минтая такими судами увеличились с 2016 по 2022 гг. с 1,2 до 90,1 тыс. т, что составило около 70% ОДУ этого вида в Южно-Курильской зоне. Отмечено также использование наливных судов у северных Курильских островов, западного Сахалина, в Охотском и Беринговом морях. В сравнении с традиционными траулерами-процессорами, подобный промысел исключает возможность выбросов молоди и некондиционной рыбы, так как перед поступлением на сортировку весь улов взвешивается, и по этой причине неиспользование какой-либо его части в выпуске продукции становится экономически нецелесообразным [Буслов, Байталюк, 2023].

В ряде случаев использование на промысле отдельных объектов традиционных, но конструктивно доработанных, или альтернативных орудий лова значительно увеличивает уловы рыб и беспозвоночных. Так, с 2014 г. у берегов Камчатки на промысле тихоокеанских лососей на морских рыбопромысловых участках, помимо неводов, стали активно применять ставные жаберные сети. Это обусловлено не только низкой себестоимостью данного вида лова, по сравнению со ставными и закидными неводами, но и тем, что он позволяет в больших объёмах облавливать наиболее выгодные в ценовом отношении виды – нерку, кижучу и кету [Нагорнов и др., 2018]. Также для лососевых рыб указывают и другие орудия лова (до 9 неводов различной конструкции), способные повысить эффективность их добычи в различных районах промысла [Телятник, 2021]. Можно также привести успешные примеры улучшения промысловых показателей и роста суммарных уловов в ходе применения различных ловушек на промысле крабов [Моисеев, 2003; Павленко и др., 2021], донного яруса на лове трески и белокорого палтуса [Ильин, 2007; Тупоногов и др., 2013], донных жаберных сетей в ходе облова черного палтуса [Пальм и др., 1999 а, б]. Правда, использование таких орудий лова надо контролировать и отслеживать их возможное влияние

на объекты рыболовства, так как, к примеру, в последнем случае наибольшему промысловому прессу подвергались в основном крупные половозрелые самки черного палтуса, что могло в дальнейшем привести к резкому уменьшению численности производителей. В связи с этим, рекомендовано добывать данный вид донными ярусами, а ставные сети использовать при его высокой биомассе.

Конструктивные изменения в используемых на промысле орудиях лова также повышают результативность действующего рыбопромыслового флота. Здесь упомянем лишь о двух массовых орудиях лова, используемых в ходе добычи минтая. В первом случае отметим снурреводы (тип 40.3/39.3 импортный), которые относят к числу так называемых датских снурреводов. Эти орудия лова начали активно внедрять на промысле минтая с 2006 г., а в 2011-2015 гг. ими осваивали в среднем около 90% общего вылова вида у западной Камчатки снурреводами [Варкентин, Сергеева, 2017]. По сравнению с традиционным (дальневосточным) типом снурревода, датский имеет укороченные крылья и утяжелённую нижнюю подбору, что приближает его к донному тралу и приводит к более высокой улавливаемости минтая, включая его молодь, а также промысловых беспозвоночных, и прежде всего, крабов [Широков и др., 2012]. Во втором случае речь идёт о «западных» проектах тралов «Gloria» и «Атлантика», которые по характеру набора канатных элементов и конусности оболочки позволяют вести траления по разреженным скоплениям минтая на больших скоростях. Это способствует процеживанию большего объёма воды в ходе производственных операций, а следовательно и росту вылова рыб на единицу усилия [Варкентин и др., 2021]. В целом же, конструктивные особенности орудий лова и их селективность являются важнейшей составляющей регулирования рыболовства. Они характеризуют степень направленности отбора гидробионтов определённых характеристик из облавливаемого пространства (повышение уловов целевого объекта промысла и видов прилова, снижение прилова непромысловых рыб и др.).

Совершенствование нормативной базы. Эффективное управление промыслом ВБР подразумевает под собой учёт всех факторов, влияющих на динамику численности и биомассы гидробионтов при условии их оптимального изъятия из среды обитания без причинения ущерба эксплуатируемым единицам запасов. Примером подобного управления можно привести исследование по минтаю [Майсс, Майсс, 2021], в котором предлагается для каждой единицы его запаса разрабатывать стратегию устойчивого использо-

вания, которая заключается в ежегодном регулировании уровня воздействия промысла в зависимости от состояния запаса и конъюнктуры рынков сбыта. Предлагаемая к обсуждению концептуальная основа стратегии предполагает регулировать не только допустимый объём изъятия, но и размерную структуру уловов путём ежегодного изменения параметров промысла, что позволит сохранять облавливаемые запасы в устойчивом состоянии и получать максимально возможную рентабельность промысла.

Подобное использование ресурсов минтая и других объектов рыболовства ждёт своего практического применения в ближайшей перспективе. Однако уже сейчас можно привести реальные примеры деятельности всех заинтересованных сторон (органы государственной власти субъектов Российской Федерации и местного самоуправления, научных организаций, рыбопромышленников и др.) в долгосрочном развитии рыбной отрасли в целом и по отдельным объектам рыболовства в частности. В первую очередь, следует упомянуть утверждение таких документов, как «Стратегия развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года»<sup>8</sup>, а также стратегии промысла тихоокеанских лососей и гольцов<sup>9</sup> и эксплуатации запасов палтусов<sup>10</sup> на Дальнем Востоке. В них, помимо прочего, представлены экономическая и ресурсная составляющие устойчивого развития промысла, в совокупности позволяющие государству на научной основе максимально эффективно использовать имеющиеся биоресурсы.

Помимо нормативных документов комплексного порядка, представляется необходимым выделить наиболее важные законодательные нормы, оказывающие регулирующее воздействие промысла на отдельные виды или группы видов гидробионтов с точки зрения сбалансированности сырьевой базы и её рационального использования. При этом их внедрение является результатом многолетних исследований в рамках существующей добычи тех или иных ВБР [см. напр. Широков и др., 2012; Павленко и др., 2021; Варкентин, 2023; Слизкин и др., 2023]. Отметим здесь, что научно обоснованные предложения по установлению ограничений рыболовства для внесения изме-

нений в правила рыболовства для Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна<sup>11</sup> разрабатываются ежегодно. К примеру, только в 2023 г. специалистами рыбохозяйственной науки их было подготовлено 79. Такие предложения затрагивали сроки, районы и орудия лова, величину прилова и промысловую меру ВБР и многие другие вопросы, возникающие в ходе действующего рыболовства (см. п. 4 статьи I настоящих правил). Некоторые научные обоснования по актуальным проблемам промысла после обсуждения и согласования актуализируются также и в виде ежегодных нормативных актов Министерства сельского хозяйства Российской Федерации.

Среди значимых научных обоснований-предложений и впоследствии утверждённых законотворческих норм можно упомянуть возможность лова отдельных объектов рыболовства в смежных районах при условии обитания в них единых группировок ВБР. Это, в частности, касается минтая, трески и сельди Западно-Берингоморской и Чукотской зон, минтая, трески, наваги, камбал Западно-Камчатской и Камчатско-Курильской подзон, командорского кальмара Петропавловско-Командорской подзоны и Курильской зоны, подзон Приморье и Западно-Сахалинская, когда допускается перераспределение объёмов их ОДУ и РВ между районами без превышения суммарного объёма вылова указанных видов<sup>12</sup>. В общем итоге данная норма позволяет снизить нагрузку на базовые виды в местах их традиционного лова и максимально освоить выделенные к вылову объёмы. Подобная практика облова группировок рыб, обитающих в смежных биостатистических районах промысла, введена в Дальневосточном рыболовхозяйственном бассейне и для скумбрии *Scomber japonicus* (Houttuyn, 1782), дальневосточной сардины *Sardinops melanostictus* (Temminck, Schlegel, 1846), сайры *Cololabis saira* (Brevoort, 1856), мойвы, анчоусов, бычков и скатов.

Важным решением в рамках регламента действующих правил рыболовства для целей регулирования состояния популяции и добычи минтая следует при-

<sup>8</sup> Распоряжение Правительства Российской Федерации от 08.09.2022 г. № 2567-р (ред. от 23.11.2023 г.) «Стратегия развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года». <http://government.ru/docs/all/143037>

<sup>9</sup> [http://www.vniro.ru/files/document/Strategia\\_promysla\\_28\\_06\\_2022\\_1.pdf](http://www.vniro.ru/files/document/Strategia_promysla_28_06_2022_1.pdf). 08.05.2024 г.

<sup>10</sup> <https://fish.gov.ru/news/2021/07/05/podgotovlen-proekt-strategii-ekspluatatsii-zapasov-paltusov-na-dalnem-vostoke/> 08.05.2024 г.

<sup>11</sup> Приказ Минсельхоза России от 06.05.2022 г. № 285 (ред. от 10.03.2023 г.) «Об утверждении правил рыболовства для Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна». [https://fish.gov.ru/wp-content/uploads/2024/11/pravila\\_rybolovstva\\_dlya\\_dalnevostochnogo\\_rybohozyajstvennogo\\_bassejna.pdf](https://fish.gov.ru/wp-content/uploads/2024/11/pravila_rybolovstva_dlya_dalnevostochnogo_rybohozyajstvennogo_bassejna.pdf).

<sup>12</sup> Приказ Минсельхоза России от 30.09.2022 г. № 648 (ред. от 14.08.2023 г.) «Об утверждении общего допустимого улова водных биологических ресурсов во внутренних морских водах Российской Федерации, в территориальном море Российской Федерации, на континентальном шельфе Российской Федерации, в исключительной экономической зоне Российской Федерации и Каспийском море на 2023 год». <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Minselhzoa-Rossii-ot-30.09.2022-N-648/>. 09.04.2024 г.

знать и разделение его специализированного тралового промысла в Охотском море на зимне-весенний сезон «А» (преднерестовый период, с 1 января по 9 апреля) и осенне-зимний сезон «Б» (нагульный, с 16 октября по 31 декабря) [Шевченко, Датский, 2014]. Сроки подобного разграничения сформированы сообразно началу массового икрометания минтая с учётом районов основных центров его воспроизводства. Для Берингова моря условное разделение на сезоны существует только для сельди Карагинской подзоны [Смирнов и др., 2022], при этом состояние водных биоресурсов и их изъятие в западной части моря правилами рыболовства регулируется весьма всесторонне (табл. 9). Проблемные ситуации, складывающиеся на промысле отдельных видов, также оперативно решаются ведомственными приказами с годовым сроком действия. В качестве примера последних приведём установление ограничений рыболовства сельди<sup>13</sup> и трески<sup>14</sup> в Западно-Беринговоморской и Чукотской зонах в 2023-2024 гг. В первом случае введение запрета связано с необходимостью сохранения нерестового потенциала корфо-карагинской сельди, во втором – со снижением промысловой нагрузки в период нереста анадырско-наваринской трески, биомасса которой существенно снизилась в начале 2020-х гг. [Датский и др., 2023 а].

Ранее уже было сказано, что для осуществления эффективного промысла необходимо исключить возможность выбросов молоди, некондиционных объектов и видов прилова. Для достижения этой цели необходимо законодательно отказаться от системы учёта вылова по выходу продукции ввиду отсутствия стимула к рациональному расходованию улова и перейти на прямой учёт вылова, вследствие чего неиспользование какой-либо его части в выпуске продукции станет экономически нецелесообразным. К примеру, в США и Канаде количество всего выловленного сырца определяется установленными на судах электронными конвейерными весами, информация от которых через интернет автоматически передаётся на сайт National Marine Fisheries Service, где она через 15-20 минут доступна всем заинтересованным сторонам. Также для сведения к минимуму расходов на монито-

ринг и устранения неопределённости, которая может возникнуть при наблюдении людьми, с 2019 г. на промысле минтая на Аляске<sup>15</sup> используется электронная система мониторинга, предполагается её внедрение и в водах Атлантики<sup>16</sup>. В целом положительный опыт соседних стран в сфере рыболовства [см. напр., Шевченко, Датский, 2014; Зиланов и др., 2017] необходимо активно анализировать и при условии корректной адаптации к российским реалиям оперативно внедрять через нормативные правовые акты.

Ещё одной важной составляющей системы регулирования промысла водных биоресурсов и рационального их использования следует признать актуализацию норм выхода рыбной продукции (устранение факторов, приводящих к неоправданным потерям рыбного сырья, создание новых технологических схем его переработки и др.). Актуализированные технологические инструкции изготовления непереработанной пищевой рыбной продукции позволяют гармонизировать современную технологическую документацию с базовыми принципами, заложенными десятилетиями в науке и практике технологических направлений. Интеграция технологий и актуализированных стандартов будет способствовать развитию в производстве качественной и безопасной продукции рыбохозяйственного комплекса, дополнительно стимулируя рыбопромышленников к полной и глубокой переработке уловов гидробионтов, в том числе и невостребованных промыслом [см. напр. Калиниченко и др., 2007; Ярочкин, Бойцова, 2018; Ярочкин и др., 2020]. Отметим, что актуализация норм выхода продуктов переработки ВБР может быть обусловлена и заменой устаревшего на повышающее выход продукции оборудования. Так, использование рыборазделочных линий нового поколения увеличивает выход обезглавленного минтая на 3,8%, а филе без кожи и кости – на 2,9% [Сопина и др., 2022].

В целом, задача повышения эффективности морского и океанического рыболовства может решаться как традиционно, путём введения новых средств и процессов, включением в вылов второстепенных объектов многовидового рыболовства, так и путём разработки и внедрения современных научных методов управления рыбопромысловым процессом, требующих законодательной инициативы. В настоящее время накопленные данные и опыт позволяют начать переход от прогнозирования распределения объектов к управлению ими. Например, через акустическую

<sup>13</sup> Приказ Минсельхоза РФ от 01.02.23 г. № 59 «Об установлении ограничения промышленного рыболовства сельди тихоокеанской в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне в 2023 году». <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202302200018?index=1&rangeSize=1. 11.04.2024 г.>

<sup>14</sup> Приказ Минсельхоза РФ от 20.11.23 г. № 866 «Об установлении ограничения промышленного рыболовства трески в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне в 2023 и 2024 годах». <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202312080020?index=1. 11.04.2024 г.>

<sup>15</sup> ЗАО «Русская пелагическая исследовательская компания». [http://ruspelagic.ru/promysel\\_v\\_ssh](http://ruspelagic.ru/promysel_v_ssh). 25.04.2024 г.

<sup>16</sup> Британия собирается удалённо следить за своим промыслом. <https://fishnews.ru/news/49921. 17.05.2024 г.>

**Таблица 9.** Регулирование промышленного и прибрежного рыболовства водных биологических ресурсов в российских водах Берингова моря согласно действующим правилам рыболовства (пункты правил)**Table 9.** Regulation of industrial and coastal fishing of aquatic biological resources in the Russian waters of the Bering Sea in accordance with the current fishing rules (clauses of the rules)

Объект рыболовства	Предмет регулирования						
	Районы	Сроки	Виды	Размеры	Прилов	Орудия лова и способы добычи	Шаг ячей в орудиях лова
Минтай	24.1	28.1	-	36	38.1	32.4	35
Сельдь тихоокеанская	24.2	28.2	-	36	-	-	35
Палтусы	24.12	32.6	-	36	-	-	-
Камбалы дальневосточные	-	-	-	36	-	-	35
Терпуги	-	-	-	36	-	-	35
Тихоокеанские лососи	приложение 10	28.23, 28.24	-	-	-	32.10, 32.13, 32.17, 32.24	34.3, 35
Анадромные виды рыб	-	-	-	-	-	32.23	-
Все виды рыб, за исключением анадромных видов рыб	-	28, 29	-	-	-	-	-
Крабы	24.13		31	36	-	32.10, 32.13	-
Креветки	-	28.4		36	-	32.14	-
Все виды ВБР, за исключением тихоокеанских лососей, гольцов	-	29.1	-	-	-	-	-
Все виды ВБР, за исключением крабов, креветок, морских гребешков	-	-	-	-	38.3, 41, 45	-	-
Все виды ВБР	23.1, 23.2.1, 23.2.3, 23.2.4, приложение 1	-	-	-	42	32.1, 32.22	35

стимуляцию некоторых промысловых видов рыб и головоногих моллюсков в целях повышения эффективности их облова, селективности лова и сохранения ресурсов [Байталюк и др., 2015]. Помимо этого, особую актуальность в управлении уже рыбохозяйственным комплексом в целом начинают приобретать системы учёта и контроля добычи рыбных и иных запасов, их переработка и дальнейшее использование, возрастает роль цифровизации отрасли. Системный контроль государством рыбохозяйственной деятельности на базе новых инструментов цифровизации претерпевает существенные трансформации, которые на высоком уровне раскрывают необходимую информацию для государственных структур надзора и регулирования и упреждают субъектов хозяйствования от незаконных операций. Ответственный и законный рыболовный промысел повышает уровень занятости населения прибрежных регионов, оптимизирует структуру экспорта, наполняет внутренний рынок более широким ассортиментом рыбных товаров за счёт глубокой переработки рыбного сырья, увеличивающей добавленную стоимость [Дусаева и др., 2021]. Важным здесь является и тот факт, что ресурсопользователей, добросовестно исполняющих свои договор-

ные обязательства, стремящихся обновлять основные производственные фонды, включая рыбопромысловый флот, и выпускать рыбопродукцию глубокой переработки уловов для её поставок на внутренний рынок, государство стремится наделить различными преференциями (налоговые льготы,<sup>17</sup> льготное кредитование,<sup>18,19</sup> заключение нового договора на рыбопромысловый участок без конкурса и торгов<sup>20</sup> и др.). Подобный системный подход к осуществлению рыболовства в целом окажет положительное влияние и на запасы ВБР, в первую очередь, через получение достоверной информации о гидробионтах и устраниении ННН-промышленства.

В общем итоге существующее состояние запасов ВБР и их добычи в российских водах Берингово-

<sup>17</sup> Налоговые льготы для рыбной отрасли будут расширены. <https://delovoymir.biz/nalogovye-lygots-dlya-rybnoy-otrasli-budut-rasshireny.html>. 15.05.2024 г.

<sup>18</sup> Рыболовная отрасль РФ получила право на льготные инвестиционные кредиты. <https://tass.ru/ekonomika/8591731>. 15.05.2024 г.

<sup>19</sup> Условия льготного кредитования для АПК пересмотрели. <https://fishnews.ru/news/49299>. 15.05.2024 г.

<sup>20</sup> Закон о рыболовных участках и электронных аукционах получил подпись президента. <https://fishnews.ru/news/47753>. 21.05.2024 г.



### Уточнение сырьевой базы ВБР

- Регулярность и периодичность исследований
- Исследования в новых промысловых районах и биотопах
- Внедрение новых подходов к прогнозированию запасов ВБР и управлению их промыслом
- Исследование популяционной организации промысловых видов
- Корректное определение возрастного состава гидробионтов
- Учет неучтенного вылова гидробионтов для расчетов запасов ВБР
- Изменение расчетов уловов по сборным группам видов и второстепенным объектам рыболовства
- Корректная работа орудий лова в ходе проведения научных исследований
- Определение и корректное применение коэффициентов уловистости при расчетах запасов гидробионтов
- Развитие методов визуальной, фотографической и прочей регистрации уловов гидробионтов
- Новые методы учета гидробионтов
- Применение альтернативных траулеров орудий и способов лова
- Использование современных научных судов с разнообразным оборудованием



### Повышение результативности действующего промысла

- Соответствие количества флота существующей сырьевой базе ВБР
- Ввод в эксплуатацию новых и модернизация существующих судов
- Создание экономической привлекательности объектов промысла
- Использование видов прилова, молоди и некондиционных объектов при специализированном и ином промысле
- Поиск новых районов промысла и способов добычи гидробионтов
- Усовершенствование существующих и внедрение новых орудий лова
- Внедрение альтернативных орудий лова
- Усовершенствование переработки ВБР на судах и береговых предприятиях
- Расширение перечня выпускаемой рыбной и иной продукции
- Расширение рынка сбыта рыбной и иной продукции



### Совершенствование нормативной базы

- Создание и утверждение планов развития рыбной отрасли на федеральном и региональном уровнях
- Создание и утверждение концепций и стратегий промысла отдельных видов или групп видов
- Внесение обоснованных предложений по ограничению промысла ВБР в правила рыболовства
- Внесение обоснованных предложений по ограничению промысла ВБР в ежегодные нормативные акты
- Отказ от системы учета вылова по выходу продукции и переход на прямой учет уловов
- Актуализация норм выхода рыбной и иной продукции
- Внедрение новых технологий и схем переработки традиционных и недоиспользуемых объектов рыболовства
- Цифровизация рыбной отрасли для учета, контроля, переработки и дальнейшего использования запасов ВБР
- Введение преференций (льготное кредитование, снижение налоговой нагрузки, перезаключение договоров без конкурса и др.) добросовестным пользователям

**Рис. 8.** Рекомендации по обеспечению рационального использования сырьевой базы водных биологических ресурсов Берингова и Чукотского морей

**Fig. 8.** Recommendations for ensuring the rational use of the raw material base of aquatic biological resources of the Bering and Chukchi seas

ва и Чукотского морей указывает на отсутствие негативного воздействия промысла на большинство гидробионтов. Перспективы рыболовства в этих морях будут зависеть от естественных абиотических и биотических факторов, влияющих на численность отдельных видов, а также от внутреннего состояния популяций рыб и беспозвоночных. В то же время в качестве рекомендаций можно выделить основные направления по повышению эффективности использования сырьевой базы гидробионтов, среди которых уточнение их общих и промысловых запасов, улучшение результативности действующего промысла и совершенствование нормативной базы рыболовства. В пределах этих направлений рекомендованы конкретные меры (рис. 8), которые помогут поддержать уловы ВБР на максимально возможном уровне в течение длительного периода времени при эксплуатации их запасов без риска нанесения им непоправимого ущерба.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённые в настоящей работе исследования позволили охарактеризовать динамику сырьевой базы и вылова морских рыб и беспозвоночных российских вод Берингова и Чукотского морей на современном этапе, а также оценить перспективы их промысла в этих морях.

Промысловые запасы ВБР в западной части Берингова моря в среднем составили 5087 тыс. т, из которых 4933 тыс. т пришлось на рыб. Среди рыб доминировали минтай, сельдь, треска, малоглазый макрорус и навага, среди беспозвоночных – командорский кальмар, углохвостая креветка, синий краб, северная креветка и краб-стригун опилио. В Чукотском море оценённые запасы сырьевой базы промысловых ВБР в 26 раз меньше аналогичных величин Берингова моря: в среднем 197 тыс. т. Более 96% биомассы (189 тыс. т) приходилось на рыб с наибольшими запа-

сами минтая, сайки и северной палтусовидной камбалы. Среди беспозвоночных доминировал краб-стригун опилио: в среднем 6,3 тыс. т, или 81,7% всех запасов беспозвоночных.

Освоение сырьевой базы ВБР в Беринговом море осуществляется более 100 лет, и на современном этапе промысел базируется на 14 видах или группах видов рыб и 10 объектах беспозвоночных. Среди рыб наибольшие уловы в западной части моря формируют минтай, лососи, сельдь, треска и камбалы. У беспозвоночных около 92% добычи приходится на командорского кальмара, синего краба и краба-стригунопилио. В западной части Чукотского моря промысел, основой которого является исключительно минтай, осуществляется только с 2021 г. Эффективность его промысла в ближайшей перспективе будет находиться в зависимости от ледовой обстановки и уровня миграции рыб из Берингова моря, обусловленной прогревом водных масс и формированием достаточной кормовой базы.

Современное состояние запасов и добычи ВБР в российских водах Берингова и Чукотского морей свидетельствует об отсутствии негативного воздействия рыболовства на большинство гидробионтов. Перспективы промысла в этих морях будут зависеть от естественных абиотических и биотических факторов, влияющих на численность отдельных видов, а также от внутреннего состояния популяций рыб и беспозвоночных. Повышения эффективности использования сырьевой базы ВБР можно добиться уточнением их запасов, улучшением результативности промысла и совершенствованием нормативной базы рыболовства. В рамках этих направлений рекомендованы меры, способствующие рациональному использованию гидробионтов.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Автор признателен всем сотрудникам, участвовавшим в научно-исследовательских работах в Беринговом и Чукотском морях в 1997-2023 гг., членам судовых экипажей и береговых экспедиций, оказавшим помочь в сборе данных, используемых в настоящем исследовании. Также автор выражает благодарность Денису Олеговичу Сологубу за профессиональные консультации по беспозвоночным в процессе подготовки рукописи.

## Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

## Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

## Финансирование

Работа выполнена по личной инициативе, без дополнительного финансирования.

## ЛИТЕРАТУРА

- Андронов П.Ю. 2016. Многолетняя динамика пространственного распределения и межгодовая изменчивость уловов северной креветки в Беринговом море и зал. Аляска // Труды ВНИРО. Т. 163. С. 3-24.
- Афанасьев П.К., Орлов А.М., Новиков Р.Н. 2014. Сравнительная характеристика угольной рыбы *Anoplopoma fimbria* в уловах пассивных и активных орудий лова в северо-западной части Тихого океана // Вопросы ихтиологии. Т. 54. № 2. С. 168-187.
- Бабаян В.К., Бобырев А.Е., Булгакова Т.И., Васильев Д.А., Ильин О.И., Ковалев Ю.А., Михайлов А.И., Михеев А.А., Петухова Н.Г., Сафаралиев И.А., Четыркин А.А., Шереметьев А.Д. 2018. Методические рекомендации по оценке запасов приоритетных видов водных биологических ресурсов. М.: Изд-во ВНИРО. 312 с.
- Бабаян В.К., Васильев Д.А., Булгакова Т.И. 2014. Оценка объемов неучтённого вылова // Труды ВНИРО. Т. 151. С. 1-9.
- Бадаев О.З. 2011. Нерациональное использование водных биоресурсов на примере некоторых видов промыслов // Вопросы рыболовства. № 1(45). С. 162-174.
- Бадаев О.З. 2018. Приловы и выбросы на ярусном промысле рыб Дальневосточного рыболово-промышленного бассейна // Вопросы рыболовства. Т. 19. № 1. С. 58-72.
- Бадаев О.З. 2020. Прилов и выбросы на тралово-снурропреводных промыслах в Дальневосточном рыболово-промышленном бассейне // Вопросы рыболовства. Т. 21. № 1. С. 53-66.
- Бадаев О.З., Черниенко И.С., Овсянникова С.Л. 2023. Сравнительный анализ оценок возраста черного палтуса *Reinhardtius hippoglossoides matsuurae* северо-западной части Тихого океана на основе различных методических подходов // Известия ТИИРО. Т. 203, вып. 2. С. 342-356. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-342-356
- Бажин А.Г., Степанов В.Г. 2012. Морские ежи семейства Strongylocentrotidae морей России. П.-Камчатский: Изд-во КамчатНИРО. 196 с.
- Байтаплюк А.А., Кузнецов М.Ю., Кулик В.В., Самко Е.В. 2015. Современные информационные технологии в краткосрочном прогнозировании рыбного промысла // Морские информационно-управляющие системы. № 2(8). С. 70-78.
- Батанов Р.Л., Чикилев В.Г., Митенкова Л.В. 2017. О поимках тихоокеанского белокорого палтуса *Hippoglossus stenolepis* (Pleuronectidae) в Анадырском лимане Берингова моря // Вопросы ихтиологии. Т. 57. № 2. С. 244-247. DOI: 10.7868/S0042875217020023
- Бородин Р.Г., Ефимов Ю.Н., Васильев Д.А. 2010. Биоэкономическая оптимизация промыслового использования морских биоресурсов // Труды ВНИРО. Т. 149. С. 25-32.
- Ботнев Д.А. 2023. Краткие результаты исследований морских гребешков у северных Курильских островов осен-

- нью 2022 г. // Труды ВНИРО. Т. 191. С. 180-184. DOI 10.36038/2307-3497-2023-191-180-184.
- Бочаров Л.Н. 2004. Перспективный подход к обеспечению населения продуктами рыболовства // Известия ТИИРО. Т. 138. С. 3-18.
- Булатов О.А. 2015. К вопросу о методологии прогнозирования запасов и стратегии промысла минтая // Труды ВНИРО. Т. 157. С. 45-70.
- Булатов О.А., Васильев Д.А. 2023. Регулирование промысла минтая: «предосторожный подход» или максимальный устойчивый улов? // Вопросы рыболовства. Т. 24. № 3. С. 7-20. DOI: 10.36038/0234-2774-2023-24-3-7-20
- Буслов А.В. 2009. Определение возраста тресковых (Gadidae) дальневосточных морей: теоретические положения и методические подходы (обзор) // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Вып. 14. С. 32-46.
- Буслов А.В., Байталюк А.А. 2023. Наливные рыболовные суда – новый тренд на промысле минтая у южных Курильских островов // Рыбное хозяйство. № 4. С. 74-79. DOI 10.37663/0131-6184-2023-4-74-79
- Буслов А.В., Бонк А.А., Варкентин А.И., Золотов А.О. 2006. Определение недоучёта вылова минтая и сельди: методические подходы и результаты / Методические аспекты исследований рыб морей Дальнего Востока // Труды ВНИРО. Т. 146. С. 322-328.
- Буслов А.В., Варкентин А.И. 2000. Как усовершенствовать учёт вылова минтая // Рыбное хозяйство. № 6. С. 33-34.
- Буяновский А.И. 2020 а. Использование промысловой статистики для корректировки оценок запасов краба-стригана опилио в морях России // Вопросы рыболовства. Т. 21. № 1. С. 106-124.
- Буяновский А.И. 2020 б. Динамика промысловых запасов синего краба в морях России с учётом данных промысловой статистики // Вопросы рыболовства. Т. 21. № 4. С. 423-439. DOI 10.36038/0234-2774-2020-21-4-423-439.
- Буяновский А.И., Алексеев Д.О., Сологуб Д.О., Бизиков В.А. 2023. Динамика запасов и регулирование промысла крабов в морях России. М.: Изд-во ВНИРО. 324 с.
- Варкентин А.И. 2023. О прилове минтая непромыслового размера в северо-восточной части Охотского моря в период зимне-весеннего специализированного промысла: от наблюдений к правилам рыболовства // Вопросы рыболовства. Т. 24. № 2. С. 56-64. DOI: 10.36038/0234-2774-2023-24-2-56-64
- Варкентин А.И., Сергеева Н.П. 2017. Промысел минтая (*Theragra chalcogramma*) в прикамчатских водах в 2003-2015 гг. // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Вып. 47. С. 5-45. DOI: 10.15853/2072-8212.2017.47.5-45
- Варкентин А.И., Сергеева Н.П., Ильин О.И., Овсянников Е.Е. 2021. Промысел, размерно-возрастной состав, состояние запасов и перспективы вылова минтая (*Gadus chalcogrammus*, Pallas, 1814) на акватории, прилегающей к Камчатскому полуострову и Северным Курильским островам // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Вып. 60. С. 5-42. DOI: 10.15853/2072-8212.2021.60.5-42
- Городничев А.А. 2023. Анализ переработки минтая на рыболовных судах Российской Федерации // Мат. I Межд. науч.-практ. конф. «Рыбнохозяйственный комплекс России: проблемы и перспективы развития». Москва, 28-29 марта 2023 г. М.: Изд-во ВНИРО. С. 495-501.
- Датский А.В. 2019 а. Сыревая база рыболовства и её использование в российских водах Берингова моря. Сообщение 1. Суммарный прогнозируемый и фактический вылов водных биологических ресурсов за период с 2000 по 2015 гг. // Труды ВНИРО. Т. 175. С. 130-152.
- Датский А.В. 2019 б. Сыревая база рыболовства и её использование в российских водах Берингова моря. Сообщение 2. Межгодовая динамика прогнозируемого и фактического вылова водных биологических ресурсов на современном этапе и в исторической перспективе // Труды ВНИРО. Т. 177. С. 70-122.
- Датский А.В. 2023 а. Рыбные ресурсы российских вод Берингова и Чукотского морей: запасы и промысел // Мат. I Межд. науч.-практ. конф. «Рыбнохозяйственный комплекс России: проблемы и перспективы развития». Москва, 28-29 марта 2023 г. М.: Изд-во ВНИРО. С. 120-133.
- Датский А.В. 2023 б. Сыревая база водных биологических ресурсов в российских водах Чукотского моря и её стоимость // Вопросы рыболовства. Т. 24. № 1. С. 117-142.
- Датский А.В., Андронов П.Ю. 2007. Ихтиоцен верхнего шельфа северо-западной части Берингова моря. Магадан: СВНЦ ДВО РАН. 261 с.
- Датский А.В., Антонов Н.П., Савин А.Б. 2023 а. Современное состояние запасов тихоокеанской трески в северо-западной части Берингова моря и перспективы её промысла // Рыбное хозяйство. № 6. С. 76-84. DOI: 10.37663/0131-6184-2023-6-76-84
- Датский А.В., Ведищева Е.В., Трофимова А.О. 2022 а. Особенности биологии массовых рыб в российских водах Чукотского моря. 1. Промысловая биомасса рыб. Семейство тресковые Gadidae // Вопросы ихтиологии. Т. 62. № 4. С. 387-412. DOI: 10.31857/S0042875222040075
- Датский А.В., Датская С.А. 2022. Роль бореальных рыб в арктической экосистеме: минтай и прочие рыбы Чукотского моря // Сб. трудов XI Межд. науч.-практ. конф. «Морские исследования и образование (MARESEDU)-2022», 24-28 октября 2022 г. Том III (IV). Тверь: ООО «ПолипРЕСС». С. 368-372.
- Датский А.В., Кулик В.В., Датская С.А. 2021. Динамика обилия массовых промысловых рыб дальневосточных морей и прилегающих районов открытой части Тихого океана и влияющие на неё факторы // Труды ВНИРО. Т. 186. № 4. С. 31-77. DOI: 10.36038/2307-3497-2021-186-31-77.
- Датский А.В., Самойленко В.В. 2021. Сыревая база водных биологических ресурсов в российских водах Берингова моря и её стоимость // Вопросы рыболовства. Т. 22. № 1. С. 64-99. DOI: 10.36038/0234-2774-2021-22-1-64-99.
- Датский А.В., Шейбак А.Ю., Батанов Р.Л. 2023 б. Распределение уловов водных биологических ресурсов в россий-

- ских водах Берингова моря по районам, срокам и орудиям лова // Труды ВНИРО. Т. 192. С. 85-112. DOI: 10.36038/2307-3497-2023-192-85-112.
- Датский А.В., Шейбак А.Ю., Чикилев В.Г. 2022 б. Чукотское море – новый район промысла минтая // Труды ВНИРО. Т. 189. С. 162-179. DOI: 10.36038/2307-3497-2022-189-162-179.
- Датский А.В., Яржомбек А.А., Андронов П.Ю. 2014. Стрелозубые палтусы *Atheresthes* spp. (Pleuronectiformes, Pleuronectidae) и их роль в рыбном сообществе Олюторско-Наваринского района и прилегающих акваториях Берингова моря // Вопросы ихтиологии. Т. 54. № 3. С. 303-322. DOI: 10.7868/S0042875214020027.
- Дегтев А.И., Шевляков Е.А., Малых К.М., Дубынин В.А. 2012. Опыт оценки численности молоди и производителей тихоокеанских лососей гидроакустическим методом на путях миграции в пресноводных водоёмах // Известия ТИНРО. Т. 170. С. 113-135.
- Дусаева Е.М., Труба А.С., Курманова А.Х. 2021. Трансформация контроля в рыбохозяйственном комплексе в условиях цифровизации // Труды ВНИРО. Т. 186. № 4. С. 182-188. DOI: 10.36038/2307-3497-2021-186-182-188.
- Жуков В.П. 2010. Научное обоснование конструктивного совершенствования тралов для лова мезопелагических рыб. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Калининград: КГТУ. 24 с.
- Запорожец О.М., Шевляков Е.А., Запорожец Г.В. 2008. Динамика численности камчатских лососей с учётом их легального и нелегального вылова // Известия ТИНРО. Т. 153. С. 109-133.
- Захаров Е.А., Емелин П.О. 2016. Актуальность использования аппаратуры контроля орудий лова для снижения погрешности в оценке численности гидробионтов // Известия ТИНРО. Т. 186. С. 198-206.
- Захаров Е.А., Кручинин О.Н., Мизюркин М.А., Сафонов В.А. 2013. Геометрические параметры донного трала 27,1/24,4 и возможные погрешности в оценке численности гидробионтов // Известия ТИНРО. Т. 174. С. 284-292.
- Захаров Е.А., Кручинин О.Н., Шабельский Д.Л. 2019. Разработка и апробирование алгоритма расчёта рабочих параметров траловых систем // Известия ТИНРО. Т. 198. С. 221-229. DOI: 10.26428/1606-9919-2019-198-221-229.
- Зверев Г.С., Гончарова Н.А., Кизабекова А.О. 2024. Влияет ли объем вылова тихоокеанских лососей на оптовую цену продукции из них? // Известия ТИНРО. Т. 204, вып. 1. С. 232-250. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-232-250
- Зверькова Л.М. 2016. Минтай: сегодня и завтра // Рыбное хозяйство. № 5. С. 102-107.
- Зиланов В.К., Борисов В.М., Лука Г.И. 2017. Рыбное хозяйство Норвегии. М.: Изд-во ВНИРО. 296 с.
- Золотов А.Г., Буслов А.В., Спирин И.Ю. 2006. К методике определения возраста северного однопёрого терпуга *Pleurogrammus monopterygius* (Pallas) по различным регистрирующим структурам // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Вып. 8. С. 188-197.
- Золотов А.О. 2021. Современный специализированный промысел морских рыб в западной части Берингова моря // Известия ТИНРО. Т. 201, вып. 1. С. 76-101. DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-76-101
- Золотов А.О., Глубоков А.И., Варкентин А.И. 2021. Разработка подходов к регулированию промысла камбал Западно-Беринговоморской зоны // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Вып. 68. С. 70-89. DOI: 10.15853/2072-8212.2023.68.70-89.
- Золотов А.О., Мазникова О.А., Дубинина А.Ю. 2022. Анализ современной динамики запасов и промысла палтусов в северо-западной части Берингова моря // Труды ВНИРО. Т. 190. С. 36-61. DOI: 10.36038/2307-3497-2022-190-36-61.
- Золотов А.О., Терентьев Д.А., Малых К.М. 2012. Использование сноррреводных съёмок для исследований биоресурсов прибрежных вод Камчатки: методические подходы и предварительные результаты // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Вып. 27. С. 99-106.
- Ильин О.И. 2007. Об оптимальной эксплуатации популяции несколькими типами орудий лова (на примере трески Берингова моря) // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Вып. 9. С. 258-260.
- Ильин О.И., Сергеева Н.П., Варкентин А.И. 2014. Оценка запасов и прогнозирование ОДУ восточнокамчатского минтая (*Theragra chalcogramma*) на основе предосторожного подхода // Труды ВНИРО. Т. 151. С. 1-13.
- Исупов В.В. 2000. Распределение и перспективы промысла брюхоногих моллюсков в Анадырском заливе Берингова моря // Бюллетень Дальневосточного малакологического общества. Владивосток: Дальнаука. Вып. 4. С. 71-72.
- Калиниченко Т.П., Ярочкин А.П., Тимчишина Г.Н., Ермаков Ю.К. 2007. Технологические особенности объектов многовидовых уловов при ярусном промысле трески // Известия ТИНРО. Т. 149. С. 394-400.
- Канзепарова А.Н., Ваизова И.А., Никифоров А.И., Беляев В.А. 2024. Итоги лососевой путиньи в Дальневосточном рыболовохозяйственном бассейне в 2023 г. // Бюллетень изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. Владивосток: ТИНРО. № 18. С. 3-18. DOI: 10.26428/losos\_bull18-2024-3-18.
- Ким Л.Н., Измятинский Д.В. 2017. Форма регистрации уловов закидного невода и ставных сетей и опыт оценки ресурсов рыб с помощью этих орудий лова // Известия ТИНРО. Т. 189. С. 204-218.
- Кондрашенков Е.Л., Иванов П.Ю. 2012. Определение коэффициентов уловистости сноррревода для некоторых видов крабов, по данным сравнительных результатов траловых и сноррреводных исследований // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Вып. 24. С. 98-106.
- Корнев С.И., Белонович О.А., Никулин С.В. 2014. Косатки (*Orcinus orca*) и промысел черного палтуса (*Reinhardtius hippoglossoides*) в Охотском море // Исследования во-

- дных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Вып. 34. С. 35-50.
- Кузнецов М.Ю., Ефимкин А.Я., Басюк Е.О. 2006. Распределение и условия обитания минтая в наваринско-анадырском районе Берингова моря летом-осенью 2002-2003 гг. // Известия ТИНРО. Т. 144. С. 247-264.
- Кузнецов М.Ю., Поляничко В.И., Убарчук И.А., Сыроваткин Е.В. 2017. Влияние гидроакустического шума судна на эхон-теграционные оценки запасов рыб и уловистость учётного траха (на примере минтая Охотского моря) // Известия ТИНРО. Т. 190. С. 85-100.
- Кузнецов М.Ю., Поляничко В.И., Шевцов В.И. 2023. Гидроакустические технологии дистанционного управления поведением рыб и щадящего отвода морских млекопитающих от орудий лова // Рыбное хозяйство. № 4. С. 80-88. DOI: 10.37663/0131-6184-2023-4-80-88.
- Кулик В.В., Алфёров А.И., Горюнов М.И. 2023. Оценка максимального устойчивого улова малоглазого макруруса *Albatrossia pectoralis* (Macrouridae) на Дальнем Востоке России на основе байесовской производственной модели JABBA // Известия ТИНРО. Т. 203. № 2. С. 443-463. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203443-463.
- Кулик В.В., Глебов И.И., Асеева Н.Л., Новиков Р.Н. 2022. Оценка состояния запаса черного палтуса (*Reinhardtius hippoglossoides matsuurae*) в Охотском море // Известия ТИНРО. Т. 202, вып. 2. С. 466-497. DOI: 10.26428/1606-9919-202-466-497.
- Курмазов А.А. 2006. Освоение побережий и развитие рыболовства в Беринговом море. Владивосток: ТИНРО-Центр. 259 с.
- Левашов Д.Е. 2010. Современные суда и судовое оборудование для рыбопромысловых исследований. М.: Изд-во ВНИРО. 400 с.
- Лобакин Н.В., Исупов В.В., Андronov П.Ю. 2003. О распространении и биологии пятиугольного волосатого краба *Telmessus cheiragonus* в северо-западной части Берингова моря // Тез. докл. Всеросс. конф. молодых учёных. Владивосток: ТИНРО-Центр. С. 51-53.
- Мазникова О.А., Афанасьев П.К., Датский А.В., Орлов А.М., Антонов Н.П. 2015. Распределение, биология и состояние запасов тихоокеанского черного палтуса *Reinhardtius hippoglossoides matsuurae* по данным различных орудий лова в западной части Берингова моря и у восточного побережья Камчатки // Труды ВНИРО. Т. 155. С. 31-55.
- Мазникова О.А., Афанасьев П.К., Орлов А.М., Новиков Р.Н., Емелин П.О. 2017. Сравнительный анализ формы отолитов, пространственное распределение и размерный состав черного палтуса *Reinhardtius hippoglossoides matsuurae* в западной части Берингова моря // Известия ТИНРО. Т. 191. С. 97-113.
- Майсс А.А., Майсс Н.А. 2021. Концепция разработки стратегии устойчивого использования водных биологических ресурсов на примере промысла минтая в дальневосточных водах России // Рыбное хозяйство. № 6. С. 63-71. DOI: 10.37663/0131-6184-2021-6-63-71.
- Малкин Е.М. 1999. Репродуктивная и численная изменчивость промысловых популяций рыб. М.: Изд-во ВНИРО. 146 с.
- Матвеев А.А., Терентьев Д.А. 2023. Рогатковые (Cottidae) рыбы западнокамчатского шельфа, современное состояние их промысла и переработки // Вестник КГТУ. № 6. С. 41-57. DOI: 10.17217/2079-0333-2023-66-41-57.
- Метелёв Е.А., Смирнов А.А., Панфилов А.М., Абаев А.Д., Фомин Е.А., Григоров В.Г. 2023. Использование малых беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) при учёте нерестилищ тихоокеанской сельди в Ольской лагуне Тайской губы Охотского моря // Рыбное хозяйство. № 1. С. 51-54. DOI: 10.37663/0131-6184-2023-1-51-54.
- Мизюркин М.А., Кручинин О.Н., Волотов В.М., Еремин Е.В., Захаров Е.А., Ваккер Н.Л., Корнейчук И.А., Борилко О.Ю. 2020. Некоторые особенности промысла креветок ловушками с различными конструкциями входных устройств // Рыбное хозяйство. № 2. С. 32-42.
- Моисеев П.А. 1953. Треска и камбалы дальневосточных морей // Известия ТИНРО. Т. 40. 287 с.
- Моисеев С.И. 2003. Изучение производительности крабовых ловушек различного типа в прибрежной зоне Баренцева моря // Труды ВНИРО. Т. 142. С. 178-191.
- Мясников В.Г., Андронов П.Ю., Исупов В.В. 2002. Некоторые результаты работ в прибрежной зоне северной части Берингова моря // Тез. докл. VI Всеросс. конф. по промысловым беспозвоночным. М.: ВНИРО. С. 35-36.
- Нагорнов А.А., Коваленко М.Н., Адамов А.А., Сошин А.В. 2018. Результаты использования различных орудий лова на промысле тихоокеанских лососей в Камчатском крае в 2017 г. // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Вып. 49. С. 85-99. DOI: 10.15853/2072-8212.2018.49.85-99
- Николаев А.В., Кузнецов М.Ю., Сыроваткин Е.В. 2008. Акустические исследования сайки (*Boreogadus saida*) в российских водах Берингова и Чукотского морей в 1999-2007 гг. // Известия ТИНРО. Т. 155. С. 131-143.
- Николенко Л.П. 2010. Сверхстатистические потери черного палтуса (*Reinhardtius hippoglossoides*), равношипого краба (*Lithodes aequispina*) и краба-стригана (*Chionoecetes angulatus*) при глубоководном сетном и ярусном промыслах в Охотском море // Вопросы рыболовства. Т. 11. № 3(43). С. 592-600.
- Новиков Н.П. 1974. Промысловые рыбы материкового склона северной части Тихого океана. М.: Пищевая промышленность. 308 с.
- Овсянников В.П., Сидяков Ю.В. 2006. Видовой состав и количественное распределение брюхоногих моллюсков в прибрежье Татарского пролива // Известия ТИНРО. Т. 146. С. 198-204.
- Орлов А.М., Афанасьев П.К. 2013. Отолитометрия как инструмент анализа популяционной структуры тихоокеанской трески *Gadus macrocephalus* (Gadidae, Teleostei) // Амурский зоологический журнал. Т. 3. С. 327-331.

- 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.
- Орлов А.М., Кузнецова Е.Н., Мухаметов И.Н. 2011. Возраст и рост тихоокеанского белокорого палтуса *Hippoglossus stenolepis* и размерно-возрастной состав его уловов в северо-западной части Тихого океана // Вопросы ихтиологии. Т. 51. № 3. С. 341-359.
- Орлова С.Ю., Сергеев А.А., Курносов Д.С., Бочарова Е.С., Емельянова О.Р., Чикунова Е.А., Орлов А.М., Глубоковский М.К. 2022. Популяционная структура минтая азиатской части ареала на основании данных различных генетических маркёров // Труды ВНИРО. Т. 189. С. 180-197. DOI: 10.36038/2307-38/2307-3497-2022-189-180-197.
- Островский В.И., Ткачева О.Б., Харитонов А.В., Шаленко В.Н. 2014. Эффективная площадь облова крабов ловушками в северо-западной части Татарского пролива // Известия ТИНРО. Т. 178. С. 261-270.
- Павленко А.А., Лихошапко А.А., Лихограев А.Ю., Шмелев С.В., Лютый С.Г. 2021. Способ улучшения селективных качеств ловушек для промысла камчатского краба // Труды ВНИРО. Т. 186. № 4. С. 143-155. DOI: 10.36038/2307-3497-2021-186-143-155
- Пальм С.А., Чикилев В.Г., Датский А.В. 1999 а. Биология, промысел и распределение черного палтуса *Reinhardtius hippoglossoides* в анадырско-наваринском районе Берингова моря // Известия ТИНРО. Т. 126. Ч. I. С. 252-261.
- Пальм С.А., Чикилев В.Г., Датский А.В. 1999 б. Черный палтус Анадырско-Наваринского района // Рыбное хозяйство. № 4. С. 31-33.
- Рыбохозяйственной науке России 130 лет. 2011. М.: Изд-во ВНИРО. 488 с.
- Савин А.Б. 2021. Сайка (*Boreogadus saida*, Gadidae) Чукотского моря и прилегающих вод // Известия ТИНРО. Т. 201. № 4. С. 810-832. DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-810-832
- Свиридов В.В., Коцюк Д.В., Подорожнюк Е.В. 2022. Беспилотный фотограмметрический учет тихоокеанских лососей посредством БПЛА потребительского класса // Известия ТИНРО. Т. 202. Вып. 2. С. 429-449. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-429-449.
- Сеславинский В.И., Аверков В.Н. 2010. Обоснований орудий лова для промысла лососей альтернативных жаберным сетям // Известия ТИНРО. Т. 160. С. 282-297.
- Слизкин А.Г., Борилко О.Ю., Деминов А.Н., Корнейчук И.А. 2023. Краб-стригун Таннера *Chionoecetes tanneri* в северо-западной части Берингова моря: критерии выбора оптимальной промысловой меры // Известия ТИНРО. Т. 203, вып. 1. С. 75-85. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-75-85
- Смирнов А.А., Датский А.В., Антонов Н.П. 2022. Сельди западной части Берингова моря: распределение, основные черты биологии, состояние запасов и промысел // Вопросы рыболовства. Т. 23. № 2. С. 86-107. DOI: 10.36038/2307-38/2307-2774-2022-23-2-86-107
- Снытко В.А., Тупоногов В.Н., Колпаков Н.В. 2005. Вклад учёных ТИНРО-Центра в изучение донных и придонных рыб // Известия ТИНРО. Т. 141. С. 173-208.
- Сопина А.В., Харенко Е.Н., Яричевская Н.Н. 2022. Актуализация норм выхода продуктов переработки минтая на основе статистического анализа данных опытно-контрольных работ. Сообщение 2. Актуализация норм выхода продуктов переработки минтая Западно-Беринговоморской, Восточно-Камчатской, Северо- и Южно-Курильской зон // Труды ВНИРО. Т. 187. С. 161-169. DOI: 10.36038/2307-3497-2022-187-161-169.
- Сыревая база российского рыболовства в 2012 г.: районы российской юрисдикции (справочно-аналитические материалы). 2012. М.: ВНИРО. 511 с.
- Телятник О.В. 2021. Альтернатива современным лососёвым орудиям лова // Рыбное хозяйство. № 1. С. 99-102.
- Тупоногов В.Н., Мальцев И.В., Очеретянный М.А. 2013. Ярусный промысел белокорого палтуса (*Hippoglossus stenolepis*) в Западно-Беринговоморской зоне по данным ресурсных исследований и рыбопромысловой статистики в 1998-2008 гг. // Известия ТИНРО. Т. 175. С. 159-172.
- Харенко Е.Н., Сопина А.В., Гриценко Е.А. 2019. Освоение запасов мезопелагали - долгий путь исследований и поиска // Труды ВНИРО. Т. 176. С. 41-50.
- Шевляков Е.А. 2013. Структура и динамика нелегального берегового промысла тихоокеанских лососей в Камчатском регионе в современный период // Рыбное хозяйство. № 2. С. 58-64.
- Шевляков Е.А., Фельдман М.Г., Канзепарова А.Н. 2021. Модели запас-пополнение, ориентиры управления и правила регулирования промысла для основных чукотских стад нерки и кеты // Известия ТИНРО. Т. 201, вып. 3. С. 735-751. DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-735-751.
- Шевченко В.В., Датский А.В. 2014. Биоэкономика использования промысловых ресурсов минтая Северной Пацифики. Опыт российских и американских рыбопромышленников. М.: ВНИРО. 212 с.
- Шевченко Е.В., Тахтееев В.А., Стародубцев П.А. 2006. Метод дальнего обнаружения сформированных рыбных косяков маломощными низкочастотными просветными сигналами // Известия ТИНРО. Т. 146. С. 335-342.
- Шейбак А.Ю., Поляничко В.И., Сыроваткин Е.В. 2023. Использование гидроакустических данных для уточнения запаса минтая по результатам траловых съёмок в северо-восточной части Охотского моря // Мат. I Межд. науч.-практ. конф. «Рыбохозяйственный комплекс России: проблемы и перспективы развития». Москва, 28-29 марта 2023 г. М.: Изд-во ВНИРО. С. 260-268.
- Широков Е.П., Коваленко М.Н., Варкентин А.И., Иванов П.Ю., Лапшин О.М. 2012. Сноррреводный промысел на Камчатке: влияние изменения оснастки сноррреводов на состояние системы «запас-промышлен» // Исследования

- водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Вып. 27. С. 90-98.
- Шунтов В.П. 2001. Биология дальневосточных морей России. Т. 1. Владивосток: ТИНРО-центр. 580 с.
- Шунтов В.П. 2010. Некоторые результаты экосистемного изучения биологических ресурсов дальневосточных морей в связи с задачами дальнейших исследований // Лососевый бюллетень. № 5. Владивосток: ТИНРО-центр. С. 186-195.
- Шунтов В.П. 2016. Биология дальневосточных морей России. Владивосток: ТИНРО-Центр. Т. 2. 604 с.
- Шунтов В.П. 2022. Биология дальневосточных морей России. Владивосток: ТИНРО. Т. 3. 454 с.
- Шунтов В.П., Бочаров Л.Н., Волченко И.В., Иванов О.А. 2010. Экосистемное изучение биологических ресурсов дальневосточных морских вод России: некоторые результаты исследований в конце 20 – начале 21-го столетия // ТИНРО-85. Итоги десятилетней деятельности. 2000-2010 гг. Владивосток: ТИНРО-центр. С. 25-78.
- Яржомбек А.А., Датский А.В. 2014. К вопросу об уловистости орудий лова // Рыбное хозяйство. № 1. С. 82-85.
- Ярочкин А.П., Бойцова Т.М. 2018. Технологии, процессы, технические средства получения технического фарша из мелких рыб и его использование // Известия ТИНРО. Т. 193. С. 237-253. DOI: 10.26428/1606-9919-2018-193-237-253
- Ярочкин А.П., Тимчихина Г.Н., Акулин В.Н., Баштовой А.Н., Кацяннов С.П., Виговская И.М. 2020. Биотехнология переработки мелких креветок для использования в пищевых продуктах // Известия ТИНРО. Т. 200, вып. 2. С. 460-485. DOI: 10.26428/1606-9919-2020-200-460-485
- Datsky A. V. 2015. Fish fauna of the Chukchi Sea and perspectives of its commercial use // Journal of Ichthyology. V. 55. № 2. P. 185-209. DOI:10.1134/S0032945215020022
- De Robertis A., Hangard O. 2013. Fish avoidance of research vessels and the efficacy of noise-reduced vessels: a review // ICES J. Mar. Sci. V. 70. № 1. P. 34-45.
- Peterson M.J., Mueter F., Hanselman D., Lunsford C., Matkin C., Fearnbach H. 2013. Killer whale (*Orcinus orca*) depredation effects on catch rates of six groundfish species: implications for commercial longline fisheries in Alaska // ICES Journal of Marine Science. V. 70. Iss. 6. P. 1220-1232. DOI: 10.1093/icesjms/fst045
- Vasilets P.M. 2015. FMS analyst – computer program for processing data from Russian Fishery Monitoring System. DOI: 10.13140/RG.2.1.5186.0962
- northwestern part of the Pacific Ocean // Journal of Ichthyology. V. 54. № 2. P. 168-187. (In Russ.).
- Babayan V.K., Bobyrev A.E., Bulgakova T.I., Vasiliev D.A., Ilyin O.I., Kovalev Yu.A., Mikhailov A.I., Mikheev A.A., Petukhova N.O.G., Safaraliev I.A., Chetyrkin A.A., Sheremetyev A.D. 2018. Methodological recommendations for assessing stocks of priority types of aquatic biological resources. Moscow: VNIRO Publish. 312 p. (In Russ.).
- Babayan V.K., Vasiliev D.A., Bulgakova T.I. 2014. Estimation of the volume of unaccounted catch // Trudy VNIRO. V. 151. P. 1-9. (In Russ.).
- Badaev O.Z. 2011. Irrational use of aquatic biological resources using the example of some types of fisheries // Problems of Fisheries. № 1(45). P. 162-174. (In Russ.).
- Badaev O.Z. 2018. Bycatch and discards in the longline fishery of the Far Eastern fishery basin // Problems of Fisheries. V. 19. № 1. P. 58-72. (In Russ.).
- Badaev O.Z. 2020. Bycatch and discards in trawl-snurry fisheries in the Far Eastern fishery basin // Problems of Fisheries. V. 21. № 1. P. 53-66. (In Russ.).
- Badaev O.Z., Chernienko I.S., Ovsyannikova S.L. 2023. Comparative analysis of age estimates for the black halibut *Reinhardtius hippoglossoides matsuurae* of the northwestern Pacific Ocean based on various methodological approaches // Izvestia TINRO. V. 203. Iss. 2. P. 342-356. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-342-356. (In Russ.).
- Bazhin A.G., Stepanov V.G. 2012. Sea urchins of the family Strongylocentrotidae of the Russian seas. P-Kamchatsky: KamchatNIRO Publis. 196 p. (In Russ.).
- Baitalyuk A.A., Kuznetsov M.Yu., Kulik V.V., Samko E.V. 2015. Modern information technologies in short-term forecasting of fisheries // Marine information and control systems. № 2(8). P. 70-78. (In Russ.).
- Batanov R.L., Chikilev V.G., Mitenkova L.V. 2017. On the capture of the Pacific halibut *Hippoglossus stenolepis* (Pleuronectidae) in the Anadyr estuary of the Bering Sea // Journal of Ichthyology. V. 57. № 2. P. 244-247. DOI: 10.7868/S0042875217020023. (In Russ.).
- Borodin R.G., Efimov Yu.N., Vasiliev D.A. 2010. Bioeconomic optimization of commercial use of marine biological resources // Trudy VNIRO. V. 149. P. 25-32. (In Russ.).
- Botnev D.A. 2023. Brief results of studies of scallops off the northern Kuril Islands in the fall of 2022 // Trudy VNIRO. V. 191. P. 180-184. DOI 10.36038/2307-3497-2023-191-180-184. (In Russ.).
- Bocharov L.N. 2004. A promising approach to providing the population with fishing products // Izvestia TINRO. V. 138. P. 3-18. (In Russ.).
- Bulatov O.A. 2015. On the question of the methodology of stock assessment forecasting and pollock fishery strategy // Trudy VNIRO. V. 157. P. 45-70. (In Russ.).
- Bulatov O.A., Vasiliev D.A. 2023. Pollock fishery regulation: «precautionary approach» or maximum sustainable yield? // Problems of Fisheries. V. 24. № 3. P. 7-20. DOI: 10.36038/0234-2774-2023-24-3-7-20. (In Russ.).

## REFERENCES

- Andronov P.Yu. 2016. Long-term dynamics of spatial distribution and interannual variability of northern shrimp catches in the Bering Sea and Gulf Alaska // Trudy VNIRO. V. 163. P. 3-24. (In Russ.).
- Afanasyev P.K., Orlov A.M., Novikov R.N. 2014. Comparative characteristics of the sablefish *Anoplopoma fimbria* in catches of passive and active fishing gear in the

- Buslov A. V. 2009. Determination of the age of cod (Gadidae) in the Far Eastern seas: theoretical principles and methodological approaches (review) // Research of aquatic biological resources of Kamchatka and the northwestern part of the Pacific Ocean. V. 14. P. 32-46. (In Russ.).
- Buslov A. V., Baitalyuk A. A. 2023. Liquid fishing vessels – a new trend in the pollock fishery off the southern Kuril Islands // Fisheries. № 4. P. 74-79. DOI 10.37663/0131-6184-2023-4-74-79. (In Russ.).
- Buslov A. V., Bonk A. A., Varkentin A. I., Zolotov A. O. 2006. Determination of underreporting of pollock and herring catches: methodological approaches and results // Trudy VNIRO. V. 146. P. 322-328. (In Russ.).
- Buslov A. V., Varkentin A. I. 2000. How to improve accounting of pollock catches // Fisheries. № 6. P. 33-34. (In Russ.).
- Buyanovsky A. I. 2020 a. Using fisheries statistics to adjust estimates of snow crab opilio stocks in the seas of Russia // Problems of Fisheries. V. 21. № 1. P. 106-124. (In Russ.).
- Buyanovsky A. I. 2020 b. Dynamics of commercial stocks of blue crab in the seas of Russia, taking into account data from fishery statistics // Problems of Fisheries. V. 21. № 4. P. 423-439. DOI 10.36038/0234-2774-2020-21-4-423-439. (In Russ.).
- Buyanovsky A. I., Alekseev D. O., Sologub D. O., Bizikov V. A. 2023. Dynamics of stocks and regulation of crab fishing in the seas of Russia. Moscow VNIRO Publish. 324 p. (In Russ.).
- Varkentin A. I. 2023. About non-target-sized pollock in the northeastern part of the sea of Okhotsk during the winter-spring special fishery: from observations to fishing rules // Problems of Fisheries. T. 24. № 2. P. 56-64. DOI: 10.36038/0234-2774-2023-24-2-56-64. (In Russ.).
- Varkentin A. I., Sergeeva N. P. 2017. Walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) fishery in the waters adjacent Kamchatka Peninsula in 2003-2015 // Research of aquatic biological resources of Kamchatka and the northwestern part of the Pacific Ocean. V. 47. P. 5-45. DOI: 10.15853/2072-8212.2017.47.5-45. (In Russ.).
- Varkentin A. I., Sergeeva N. P., Ilyin O. I., Ovsyannikov E. E. 2021. Fishing, size-age composition, stock status and prospects for catching walleye pollock (*Gadus chalcogrammus*, Pallas, 1814) in the waters adjacent to the Kamchatka Peninsula and the Northern Kuril Islands // Research of aquatic biological resources of Kamchatka and the northwestern part of the Pacific Ocean. V. 60. P. 5-42. DOI: 10.15853/2072-8212.2021.60.5-42. (In Russ.).
- GORODNICHET A. A. 2023. Analysis of pollock processing on fishing vessels of the Russian Federation // Proc. of the I Intern. scient. and pract. Conf. «Fisheries complex of Russia: problems and development prospects». Moscow, March 28-29, 2023. Moscow VNIRO Publish. P. 495-501. (In Russ.).
- Datsky A. V. 2019 a. The raw material base of fisheries and its use in the Russian waters of the Bering Sea. Message 1. Total predicted and actual catch of aquatic biological resources for the period from 2000 to 2015 // Trudy VNIRO. V. 175. P. 130-152. (In Russ.).
- Datsky A. V. 2019 b. The raw material base of fisheries and its use in the Russian waters of the Bering Sea. Message 2. Interannual dynamics of predicted and actual catch of aquatic biological resources at the present stage and in historical perspective // Trudy VNIRO. V. 177. P. 70-122. (In Russ.).
- Datsky A. V. 2023 a. Fish resources of the Russian waters of the Bering and Chukchi seas: stocks and fishing // Proc. of the I Intern. scient. and pract. conf. «Fisheries complex of Russia: problems and development prospects». Moscow, March 28-29, 2023. Moscow VNIRO Publish. P. 120-133. (In Russ.).
- Datsky A. V. 2023 b. Raw material base of aquatic biological resources in the Russian waters of the Chukchi Sea and its cost // Problems of Fisheries. V. 24. № 1. P. 117-142. (In Russ.).
- Datsky A. V., Andronov P. Yu. 2007. Ichthyocene of the upper shelf of the northwestern Bering Sea. Magadan: NESC FEB RAS. 261 p.
- Datsky A. V., Antonov N. P., Savin A. B. 2023 a. Current state of Pacific cod stocks in the northwestern part of the Bering Sea and prospects for its fishery // Fisheries. № 6. P. 76-84. DOI: 10.37663/0131-6184-2023-6-76-84. (In Russ.).
- Datsky A. V., Vedishcheva E. V., Trofimova A. O. 2022 a. Features of the biology of common fish in Russian waters of the Chukchi Sea. 1. Commercial fish biomass. Cod family Gadidae // Journal of Ichthyology. T. 62. № 4. P. 387-412. DOI: 10.31857/S004287522040075. (In Russ.).
- Datsky A. V., Datskaya S. A. 2022. The role of boreal fish in the Arctic ecosystem: walleye pollock and other fish of the Chukchi Sea // Sat. proc. of the XI Intern. scient. and pract. conf. «Marine research and education (MARESEDU)-2022», October 24-28, 2022. V. III (IV). Tver: PolyPRESS LLC. P. 368-372. (In Russ.).
- Datsky A. V., Kulik V. V., Datskaya S. A. 2021. Dynamics of the abundance of mass commercial fish in the Far Eastern seas and adjacent areas of the open Pacific Ocean and factors influencing it // Trudy VNIRO. T. 186. № 4. P. 31-77. DOI: 10.36038/2307-3497-2021-186-31-77. (In Russ.).
- Datsky A. V., Samoilenco V. V. 2021. Raw material base of aquatic biological resources in the Russian waters of the Bering Sea and its cost // Problems of Fisheries. T. 22. № 1. P. 64-99. DOI: 10.36038/0234-2774-2021-22-1-64-99. (In Russ.).
- Datsky A. V., Sheybak A. Yu., Batanov R. L. 2023 b. Distribution of catches of aquatic biological resources in Russian waters of the Bering Sea by regions, periods and fishing gear // Trudy VNIRO. T. 192. P. 85-112. DOI: 10.36038/2307-3497-2023-192-85-112. (In Russ.).
- Datsky A. V., Sheybak A. Yu., Chikilev V. G. 2022 b. Chukchi Sea – new walleye pollock fishing area // Trudy VNIRO. T. 189. P. 162-179. DOI: 10.36038/2307-3497-2022-189-162-179. (In Russ.).
- Datsky A. V., Yarzhombek A. A., Andronov P. Yu. 2014. Arrowtooth halibut *Atheresthes* spp. (Pleuronectiformes, Pleuronectidae) and their role in the fish community of the Olyutorsky-Navarinsky region and adjacent waters of

- the Bering Sea // Journal of Ichthyology. T. 54. № 3. P. 303-322. DOI: 10.7868/S0042875214020027. (In Russ.).
- Degtev A.I., Shevlyakov E.A., Malykh K.M., Dubynin V.A. 2012. Experience in assessing the number of juveniles and spawners of Pacific salmon using the hydroacoustic method along migration routes in freshwater bodies // Izvestia TINRO. T. 170. P. 113-135. (In Russ.).
- Dusaeva E.M., Truba A.S., Kurmanova A.Kh. 2021. Transformation of control in the fishery complex in the context of digitalization // Trudy VNIRO. T. 186. № 4. P. 182-188. DOI: 10.36038/2307-3497-2021-186-182-188. (In Russ.).
- Zhukov V.P. 2010. Scientific rationale for constructive improvement of trawls for catching mesopelagic fish. PhD thesis in technic. Kaliningrad: KSTU. 24 p. (In Russ.).
- Zaporozhets O.M., Shevlyakov E.A., Zaporozhets G.V. 2008. Dynamics of the number of Kamchatka salmon, taking into account their legal and illegal catch // Izvestia TINRO. V. 153. P. 109-133. (In Russ.).
- Zakharov E.A., Emelin P.O. 2016. The relevance of using equipment for monitoring fishing gear to reduce the error in estimating the number of aquatic organisms // Izvestia TINRO. V. 186. P. 198-206. (In Russ.).
- Zakharov E.A., Kruchinin O.N., Misyurkin M.A., Safronov V.A. 2013. Geometric parameters of the bottom trawl 27.1/24.4 and possible errors in assessing the number of aquatic organisms // Izvestia TINRO. V. 174. P. 284-292. (In Russ.).
- Zakharov E.A., Kruchinin O.N., Shabelsky D.L. 2019. Development and testing of an algorithm for calculating the operating parameters of trawl systems // Izvestia TINRO. V. 198. P. 221-229. DOI: 10.26428/1606-9919-2019-198-221-229. (In Russ.).
- Zverev G.S., Goncharova N.A., Kizabekova A.O. 2024. Does the volume of Pacific salmon catch affect the wholesale price of salmon products? // Izvestia TINRO. V. 204. Iss. 1. P. 232-250. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-232-250. (In Russ.).
- Zverkova L.M. 2016. Walleye pollock: today and tomorrow // Fisheries. № 5. P. 102-107. (In Russ.).
- Zilanov V.K., Borisov V.M., Luka G.I. 2017. Norwegian fisheries. Moscow: VNIRO Publish. 296 p. (In Russ.).
- Zolotov A.G., Buslov A.V., Spirin I.Yu. 2006. On a method for determining the age of the northern greenling *Pleurogrammus monopterygius* (Pallas) using various recording structures // Research of aquatic biological resources of Kamchatka and the northwestern part of the Pacific Ocean. V. 8. P. 188-197. (In Russ.).
- Zolotov A.O. 2021. Modern specialized fishing for marine fish in the western part of the Bering Sea // Izvestia TINRO. V. 201. Iss. 1. P. 76-101. DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-76-101. (In Russ.).
- Zolotov A.O., Glubokov A.I., Varkentin A.I. 2021. Development of approaches to regulating flounder fishing in the West Bering Sea zone // Research of aquatic biological resources of Kamchatka and the northwestern part of the Pacific Ocean. Vol. 68. P. 70-89. DOI: 10.15853/2072-8212.2023.68.70-89. (In Russ.).
- Zolotov A.O., Maznikova O.A., Dubinina A.Yu. 2022. Analysis of modern dynamics of halibut stocks and fisheries in the northwestern part of the Bering Sea // Trudy VNIRO. T. 190. P. 36-61. DOI: 10.36038/2307-3497-2022-190-36-61. (In Russ.).
- Zolotov A.O., Terentyev D.A., Malykh K.M. 2012. Use of snorkeling surveys for research of biological resources of coastal waters of Kamchatka: methodological approaches and preliminary results // Research of aquatic biological resources of Kamchatka and the northwestern part of the Pacific Ocean. V. 27. P. 99-106. (In Russ.).
- Ilyin O.I. 2007. On the optimal exploitation of a population by several types of fishing gear (using the example of Bering Sea cod) // Research of aquatic biological resources of Kamchatka and the northwestern part of the Pacific Ocean. V. 9. P. 258-260. (In Russ.).
- Ilyin O.I., Sergeeva N.P., Varkentin A.I. 2014. Stock assessment and forecasting of TAC of East Kamchatka walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) based on the precautionary approach // Trudy VNIRO. V. 151. P. 1-13. (In Russ.).
- Isupov V.V. 2000. Distribution and prospects for fishing of gastropods in the Anadyr Bay of the Bering Sea // Bulletin of the Far Eastern Malacological Society. Vladivostok: Dalnauka. V. 4. P. 71-72. (In Russ.).
- Kalinichenko T.P., Yarochkin A.P., Timchishina G.N., Ermakov Yu.K. 2007. Technological features of multi-species catch objects in longline cod fishing // Izvestia TINRO. V. 149. P. 394-400. (In Russ.).
- Kanzeparova A.N., Vaizova I.A., Nikiforov A.I., Belyaev V.A. 2024. Results of the salmon run in the Far Eastern fishery basin in 2023 // Bulletin for the study of Pacific salmon in the Far East. Vladivostok: TINRO. № 18. P. 3-18. DOI: 10.26428/losos\_bull18-2024-3-18. (In Russ.).
- Kim L.N., Izmyatinsky D.V. 2017. Form for registering catches of cast nets and fixed nets and experience in assessing fish resources using these fishing gear // Izvestia TINRO. V. 189. P. 204-218. (In Russ.).
- Kondrashenkov E.L., Ivanov P.Yu. 2012. Determination of snurrevod catchability coefficients for some species of crabs, based on comparative results of trawl and snurrevod studies // Research of aquatic biological resources of Kamchatka and the northwestern part of the Pacific Ocean. V. 24. P. 98-106. (In Russ.).
- Kornev S.I., Belonovich O.A., Nikulin S.V. 2014. Killer whales (*Orcinus orca*) and the black fishery halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) in the Sea of Okhotsk // Research of aquatic biological resources of Kamchatka and the northwestern part of the Pacific Ocean. V. 34. P. 35-50. (In Russ.).
- Kuznetsov M.Yu., Efimkin A.Ya., Basyuk E.O. 2006. Distribution and habitat conditions of walleye pollock in the Navarin-Anadyr region of the Bering Sea in the summer and autumn of 2002-2003 // Izvestia TINRO. V. 144. P. 247-264. (In Russ.).
- Kuznetsov M.Yu., Polyanichko V.I., Ubarchuk I.A., Syrovatkin E.V. 2017. The influence of hydroacoustic noise of a vessel on echo-integration assessments of fish stocks and the

- catchability of an accounting trawl (using the example of walleye pollock from the Sea of Okhotsk) // *Izvestia TINRO*. V. 190. P. 85-100. (In Russ.).
- Kuznetsov M.Yu., Polyanichko V.I., Shevtsov V.I.* 2023. Hydroacoustic technologies for remote control of fish behavior and gentle removal of marine mammals from fishing gear // *Fisheries*. № 4. P. 80-88. DOI: 10.37663/0131-6184-2023-4-80-88. (In Russ.).
- Kulik V.V., Alferov A.I., Goryunov M.I.* 2023. Estimation of the maximum sustainable catch of the small-eyed grenadier *Albatrossia pectoralis* (Macrouridae) in the Russian Far East based on the Bayesian production model JABBA // *Izvestia TINRO*. V. 203. № 2. P. 443-463. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203443-463. (In Russ.).
- Kulik V.V., Glebov I.I., Aseeva N.L., Novikov R.N.* 2022. Assessment of the stock status of black halibut (*Reinhardtius hippoglossoides matsuurae*) in the Sea of Okhotsk // *Izvestia TINRO*. V. 202. Iss. 2. P. 466-497. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-466-497. (In Russ.).
- Kurmazov A.A.* 2006. Coastal development and fisheries development in the Bering Sea. Vladivostok: TINRO-Center. 259 p. (In Russ.).
- Levashov D.E.* 2010. Modern vessels and ship equipment for fisheries research. Moscow: VNIRO Publish. 400 p. (In Russ.).
- Lobakin N.V., Isupov V.V., Andronov P.Yu.* 2003. On the distribution and biology of the pentagonal hairy crab *Telmessus cheiragonus* in the northwestern part of the Bering Sea // Proc. report All-Russian conf. young scientists. Vladivostok: TINRO-Center. P. 51-53. (In Russ.).
- Maznikova O.A., Afanasyev P.K., Datsky A.V., Orlov A.M., Antonov N.P.* 2015. Distribution, biology and stock status of the Pacific halibut *Reinhardtius hippoglossoides matsuurae* according to data from various fishing gear in the western part of the Bering Sea and off the eastern coast of Kamchatka // *Trudy VNIRO*. V. 155. P. 31-55. (In Russ.).
- Maznikova O.A., Afanasyev P.K., Orlov A.M., Novikov R.N., Emelin P.O.* 2017. Comparative analysis of otolith shape, spatial distribution and size composition of the black halibut *Reinhardtius hippoglossoides matsuurae* in the western part of the Bering Sea // *Izvestia TINRO*. V. 191. P. 97-113. (In Russ.).
- Maiss A.A., Maiss N.A.* 2021. The concept of developing a strategy for the sustainable use of aquatic biological resources on the example of pollock fishing in the Far Eastern waters of Russia // *Fisheries*. № 6. P. 63-71. DOI: 10.37663/0131-6184-2021-6-63-71. (In Russ.).
- Malkin E.M.* 1999. Reproductive and numerical variability of commercial fish populations. Moscow: VNIRO Publish. 146 p. (In Russ.).
- Matveev A.A., Terentyev D.A.* 2023. Slingshot fish (Cottidae) of the Western Kamchatka shelf, the current state of their fishing and processing // *Bulletin of KSTU*. № 6. P. 41-57. DOI: 10.17217/2079-0333-2023-66-41-57. (In Russ.).
- Metelev E.A., Smirnov A.A., Panfilov A.M., Abaev A.D., Fomin E.A., Grigorov V.G.* 2023. The use of small unmanned aerial vehicles (UAVS) when taking into account the spawning grounds of Pacific herring *Clupea pallasii* in the Olskaya lagoon of the Tauskaya Bay of the Sea of Okhotsk // *Fisheries*. № 1. P. 51-54. DOI 10.37663/0131-6184-2023-1-51-54. (In Russ.).
- Mizyurkin M.A., Kruchinin O.N., Volotov V.M., Eremin E.V., Zakharov E.A., Vacker N.L., Korneychuk I.A., Borilko O.Yu.* 2020. Some features of shrimp fishing with traps with different designs of input devices // *Fisheries*. № 2. P. 32-42. (In Russ.).
- Moiseev P.A.* 1953. Cod and flounders of the Far Eastern seas // *Izvestia TINRO*. V. 40. 287 p.
- Moiseev S.I.* 2003. Study of the productivity of crab pots of various types in the coastal zone of the Barents Sea // *Trudy VNIRO*. T. 142. P. 178-191. (In Russ.).
- Myasnikov V.G., Andronov P.Yu., Isupov V.V.* 2002. Some results of work in the coastal zone of the northern part of the Bering Sea // *Abstr. VI All-Russ. conf. on commercial invertebrates*. Moscow: VNIRO Publish. P. 35-36. (In Russ.).
- Nagornov A.A., Kovalenko M.N., Adamov A.A., Soshin A.V.* 2018. Results of the use of various fishing gear in the Pacific salmon fishery in the Kamchatka Territory in 2017 // *Research of aquatic biological resources of Kamchatka and the northwestern part of the Pacific Ocean*. V. 49. P. 85-99. DOI: 10.15853/2072-8212.2018.49.85-99. (In Russ.).
- Nikolaev A.V., Kuznetsov M.Yu., Syrovatkin E.V.* 2008. Acoustic studies of Arctic cod (*Boreogadus saida*) in Russian waters of the Bering and Chukchi seas in 1999-2007 // *Izvestia TINRO*. V. 155. P. 131-143. (In Russ.).
- Nikolenko L.P.* 2010. Super-statistical losses of black halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*), equalspin crab (*Lithodes aequispina*) and snow crab (*Chionoecetes angulatus*) during deep-sea net and longline fisheries in the Sea of Okhotsk // *Problems of Fisheries*. V. 11. № 3(43). P. 592-600. (In Russ.).
- Novikov N.P.* 1974. Commercial fishes of the North Pacific continental slope. Moscow: Food industry. 308 p. (In Russ.).
- Ovsyannikov V.P., Sidyakov Yu.V.* 2006. Species composition and quantitative distribution of gastropods in the coastal zone of the Tatar Strait // *Izvestia TINRO*. V. 146. P. 198-204. (In Russ.).
- Orlov A.M., Afanasyev P.K.* 2013. Otolitometry as a tool for analyzing the population structure of the Pacific cod *Gadus macrocephalus* (Gadidae, Teleostei) // *Amur Zoological Journal*. V. (3). P. 327-331. (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., Taptygin M.Yu., Firsov Yu.L., Khleborodov A.S., Chikilev V.G.* 2019. Fishery research in the Chukchi Sea on the R/V «Professor Levanidov» in August 2019: some preliminary results // *Trudy VNIRO*. V. 178. P. 206-220. (In Russ.).
- Orlov A.M., Kuznetsova E.N., Mukhametov I.N.* 2011. Age and growth of the Pacific halibut *Hippoglossus stenolepis* and the size-age composition of its catches in the northwestern part of the Pacific Ocean // *Journal of Ichthyology*. V. 51. № 3. P. 341-359. (In Russ.).

- Orlova S.Yu., Sergeev A.A., Kurnosov D.S., Bocharova E.S., Emelyanova O.R., Chikurova E.A., Orlov A.M., Glubokovsky M.K. 2022. Population structure of walleye pollock in the Asian part of its range based on data from various genetic markers // Trudy VNIRO. V. 189. P. 180-197. DOI: 10.36038/2307-3497-2022-189-180-197. (In Russ.).
- Ostrovsky V.I., Tkacheva O.B., Kharitonov A.V., Shalenko V.N. 2014. Effective area for catching crabs with traps in the northwestern part of the Tatar Strait // Izvestia TINRO. V. 178. P. 261-270. (In Russ.).
- Pavlenko A.A., Likhoshapko A.A., Likhograev A.Yu., Shmelev S.V., Lyutyi S.G. 2021. A method for improving the selective qualities of traps for Kamchatka crab fishing // Trudy VNIRO. V. 186. № 4. P. 143-155. DOI: 10.36038/2307-3497-2021-186-143-155 (In Russ.).
- Palm S.A., Chikilev V.G., Datsky A.V. 1999 a. Biology, fishing and distribution of black halibut *Reinhardtius hippoglossoides* in the Anadyr-Navarin region of the Bering Sea // Izvestia TINRO. V. 126. Part I. P. 252-261. (In Russ.).
- Palm S.A., Chikilev V.G., Datsky A.V. 1999 b. Black halibut of the Anadyr-Navarinsky region // Fisheries. № 4. P. 31-33. (In Russ.).
- Fishery science in Russia is 130 years old. 2011. Moscow: VNIRO Publish. 488 p. (In Russ.).
- Savin A.B. 2021. Arctic cod (*Boreogadus saida*, Gadidae) of the Chukchi Sea and adjacent waters // Izvestia TINRO. V. 201. № 4. P. 810-832. DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-81-0-832. (In Russ.).
- Sviridov V.V., Kotsyuk D.V., Podorozhnyuk E.V. 2022. Unmanned photogrammetric survey of Pacific salmon using consumer-grade UAVs // Izvestia TINRO. V. 202. Iss. 2. P. 429-449. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-429-449. (In Russ.).
- Seslavinsky V.I., Averkov V.N. 2010. Justification of fishing gear for salmon fishing alternative to gill nets // Izvestia TINRO. V. 160. P. 282-297. (In Russ.).
- Slizkin A.G., Borilko O.Yu., Deminov A.N., Korneychuk I.A. 2023. Tanner snow crab *Chionoecetes tanneri* in the northwestern part of the Bering Sea: criteria for choosing the optimal fishing measure // Izvestia TINRO. V. 203. Iss. 1. P. 75-85. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-75-85. (In Russ.).
- Smirnov A.A., Datsky A.V., Antonov N.P. 2022. Herring in the western part of the Bering Sea: distribution, main features of biology, stock status and fishing // Problems of Fisheries. V. 23. № 2. P. 86-107. DOI: 10.36038/0234-2774-2022-23-2-86-107. (In Russ.).
- Snytko V.A., Tuponogov V.N., Kolpakov N.V. 2005. Contribution of TINRO-Center scientists to the study of bottom and demersal fish // Izvestia TINRO. V. 141. P. 173-208. (In Russ.).
- Sopina A.V., Kharenko E.N., Yarichevskaya N.N. 2022. Updating the yield standards for pollock processing products based on statistical analysis of experimental control data. Message 2. Updating the yield standards for pollock processing products in the West Bering Sea, East Kamchatka, North and South Kuril zones // Trudy VNIRO. V. 187. P. 161-169. DOI: 10.36038/2307-3497-2022-187-161-169. (In Russ.).
- Raw material base of Russian fisheries in 2012: areas of Russian jurisdiction (reference and analytical materials). 2012. Moscow: VNIRO Publish. 511 p. (In Russ.).
- Telyatnik O.V. 2021. Alternative to modern salmon fishing gear // Fisheries. № 1. P. 99-102. (In Russ.).
- Tuponogov V.N., Maltsev I.V., Ocheretyanny M.A. 2013. Longline fishery for halibut (*Hippoglossus stenolepis*) in the West Bering Sea zone according to resource studies and fishery statistics in 1998-2008 // Izvestia TINRO. V. 175. P. 159-172. (In Russ.).
- Kharenko E.N., Sopina A.V., Gritsenko E.A. 2019. Development of mesopelagic reserves – a long path of research and exploration // Trudy VNIRO. V. 176. P. 41-50. (In Russ.).
- Shevlyakov E.A. 2013. Structure and dynamics of illegal coastal fishing for Pacific salmon in the Kamchatka region in the modern period // Fisheries. № 2. P. 58-64. (In Russ.).
- Shevlyakov E.A., Feldman M.G., Kanzeparova A.N. 2021. Stock-replenishment models, management guidelines and rules for regulating fishing for the main Chukchi stocks of sockeye salmon and chum salmon // Izvestia TINRO. V. 201. Iss. 3. P. 735-751. DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-735-751. (In Russ.).
- Shevchenko V.V., Datsky A.V. 2014. Bioeconomics of utilization of North Pacific pollock resources. Experience of Russian and American fisheries corporations and fishermen. Moscow: VNIRO Publish. 212 p. (In Russ.).
- Shevchenko E.V., Takhteev V.A., Starodubtsev P.A. 2006. Method for long-range detection of formed schools of fish using low-power low-frequency transmission signals // Izvestia TINRO. V. 146. P. 335-342. (In Russ.).
- Sheybak A.Yu., Polyanichko V.I., Syrovatkin E.V. 2023. Use of hydroacoustic data to clarify the stock of pollock based on the results of trawl surveys in the north-eastern part of the Sea of Okhotsk // Proc. of the I Intern. scient. and pract. conf. «Fishery complex of Russia: problems and development prospects». Moscow, March 28-29, 2023. Moscow: VNIRO Publish. P. 260-268. (In Russ.).
- Shirokov E.P., Kovalenko M.N., Varkentin A.I., Ivanov P.Yu., Lapshin O.M. 2012. Snurrevod fishery in Kamchatka: the impact of changes in snurrevod equipment on the state of the «stock-fishery» system // Research of aquatic biological resources of Kamchatka and the northwestern part of the Pacific Ocean. V. 27. P. 90-98. (In Russ.).
- Shuntov V.P. 2001. Biology of the Far Eastern seas of Russia. T. 1. Vladivostok: TINRO-center. 580 p. (In Russ.).
- Shuntov V.P. 2010. Some results of an ecosystem study of the biological resources of the Far Eastern seas in connection with the tasks of further research // Salmon Bulletin. № 5. Vladivostok: TINRO-center. P. 186-195. (In Russ.).
- Shuntov V.P. 2016. Biology of the Far Eastern seas of Russia. Vladivostok: TINRO-Center. V. 2. 604 p. (In Russ.).
- Shuntov V.P. 2022. Biology of the Far Eastern seas of Russia. Vladivostok: TINRO. V. 3. 454 p. (In Russ.).

- Shuntov V.P., Bocharov L.N., Volvenko I.V., Ivanov O.A.* 2010. Ecosystem study of biological resources of the Far Eastern Sea waters of Russia: some results of research at the end of the 20th – beginning of the 21st century // TINRO-85. Results of ten years of activity. 2000-2010 Vladivostok: TINRO-center. P. 25-78. (In Russ.).
- Yarzhombev A.A., Datsky A.V.* 2014. On the issue of catchability of fishing gear // Fisheries. № 1. P. 82-85. (In Russ.).
- Yarochkin A.P., Boytsova T.M.* 2018. Technologies, processes, technical means for obtaining technical minced meat from small fish and its use // Izvestia TINRO. V. 193. P. 237-253. DOI: 10.26428/1606-9919-2018-193-237-253. (In Russ.).
- Yarochkin A.P., Timchikhina G.N., Akulin V.N., Bashtovoy A.N., Kasyanov S.P., Vigovskaya I.M.* 2020. Biotechnology for processing small shrimp for use in food products // Izvestia TINRO. V. 200. Iss. 2. P. 460-485. DOI: 10.26428/1606-9919-2020-200-460-485. (In Russ.).
- Datsky A. V.* 2015. Fish fauna of the Chukchi Sea and perspectives of its commercial use // Journal of Ichthyology. V. 55. № 2. P. 185-209. DOI:10.1134/S0032945215020022,
- De Robertis A., Hangard O.* 2013. Fish avoidance of research vessels and the efficacy of noise- reduced vessels: a review // ICES J. Mar. Sci. V. 70. № 1. P. 34-45.
- Peterson M.J., Mueter F., Hanselman D., Lunsford C., Matkin C., Fearnbach H.* 2013. Killer whale (*Orcinus orca*) depredation effects on catch rates of six groundfish species: implications for commercial longline fisheries in Alaska // ICES Journal of Marine Science. V. 70. Iss. 6. P. 1220-1232. DOI: 10.1093/icesjms/fst045
- Vasilets P.M.* 2015. FMS analyst – computer program for processing data from Russian Fishery Monitoring System. DOI: 10.13140/RG.2.1.5186.0962

Поступила в редакцию 24.01.2025 г.

Принята после рецензии 19.03.2025 г.

УДК 597.2/5 + 639.2.052.32

## Водные биологические ресурсы

# Современное состояние запасов проходных и полупроходных рыб Азовского бассейна

А.В. Мирзоян<sup>1,2</sup>, В.А. Лужняк<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Азово-Черноморский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ») ул. Береговая, 21 в, г. Ростов-на-Дону, 344002

E-mail: arsenfish@vniro.ru

SPIN-код: А.В. Мирзоян – 3663-3470; В.А. Лужняк – 5596-4703

**Цель работы:** оценка современного состояния и многолетней динамики популяций проходных и полупроходных рыб Азовского моря, эффективности их воспроизводства и прогноз формирования их промысловых запасов в среднесрочной перспективе в изменяющихся гидрологических условиях.

**Используемые методы:** в основу работы положены результаты комплексных и учётных экспедиций Азово-Черноморского филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), фондовые данные за период с 1923 по 2023 гг., материалы промысловой статистики пользователей Российской Федерации, которые получает Азово-Черноморское территориальное управление Росрыболовства. При рассмотрении возможных сценариев формирования промысловых запасов проходных и полупроходных видов рыб Азовского моря на период до 2030 г. были использованы данные по фактической динамике и трендам изменения их популяций в периоды-аналоги. Также анализировались данные об экологической валентности различных видов проходных и полупроходных рыб на разных стадиях онтогенеза по отношению к солёности.

**Новизна:** представлены многолетние материалы о состоянии запасов и уловов проходных и полупроходных видов рыб Азовского моря в изменяющихся экологических условиях. Представлены 3 возможных сценария формирования промысловых запасов проходных и полупроходных видов рыб Азовского моря в среднесрочной перспективе в условиях изменяющегося гидрологического режима.

**Результаты:** выполнен анализ многолетней динамики популяций, запасов и уловов проходных и полупроходных видов рыб Азовского моря в изменяющихся экологических условиях. Показаны возможные сценарии развития гидрологического режима Азовского моря и формирования промысловых запасов проходных и полупроходных видов рыб на период до 2030 г.

**Практическая значимость:** представлен прогноз формирования запасов и возможных уловов проходных и полупроходных видов рыб Азовского моря при различных уровнях солёности в среднесрочной перспективе.

**Ключевые слова:** осетровые, лещ, тарань, судак, рыбец, сельдь, солёность.

## The current state of stocks of anadromous and semi-anadromous fish of the Azov basin

Arsen V. Mirzoyan<sup>1,2</sup>, Valerii A. Luzhniak<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Azov-Black Sea branch of VNIRO («AzNIIRKH»), 21b, Beregovaya st., Rostov-on-Don, 344002, Russia

**The aim:** assessment of the current state and long-term dynamics of the populations of anadromous and semi-anadromous fish of the Sea of Azov, the efficiency of their reproduction and forecast of the formation of their commercial stocks in the medium term in changing hydrological conditions.

**Methods:** the work is based on the results of complex and accounting expeditions of the Azov-Black Sea branch of the State Scientific Center of the Russian Federation FGBNU «VNIRO» («AzNIIRKH»), stock data for the period from 1923 to 2023, fishing statistics materials. When considering possible scenarios for the formation of commercial stocks of anadromous and semi-anadromous fish species in the Sea of Azov for the period up to 2030, data on the actual dynamics and trends of changes in their populations in analogous periods were used. Data on the ecological valence of various species fish at different stages of ontogenesis in relation to salinity were also analyzed.

**Novelty:** the article presents long-term materials on the state of stocks and catches of anadromous and semi-anadromous fish species of the Sea of Azov in changing environmental conditions. Three possible scenarios for the formation of commercial stocks of anadromous and semi-anadromous fish species in the Sea of Azov in the medium term under conditions of a changing hydrological regime are presented.

**Results:** an analysis of the long-term dynamics of populations, stocks and catches of anadromous and semi-anadromous fish species of the Azov Sea in changing environmental conditions was performed. Possible scenarios for the development of the hydrological regime of the Azov Sea and the formation of commercial stocks of anadromous and semi-anadromous fish species for the period up to 2030 are shown.

**Practical significance:** the forecast of the formation of stocks and possible catches of anadromous and semi-anadromous fish species in the Sea of Azov at different salinity levels in the medium term is presented.

**Keywords:** sturgeon, bream, roach, pike-perch, vimba, herring, salinity.

## ВВЕДЕНИЕ

Ихтиофауна Азовского моря имеет сложный генезис и включает представителей разных фаунистических комплексов – средиземноморского, понто-каспийского, boreально-атлантического и пресноводного [Берг, 1949; Зенкевич, 1963]. Среди представителей понто-каспийского и пресноводного фаунистических комплексов наибольшую промысловую ценность представляют проходные рыбы, которые постоянно обитают в море, но для размножения совершают миграции из морских вод в реки. К экологической группе проходных рыб в Азовском море относятся осетровые виды рыб (Acipenseridae), черноморско-азовская проходная сельдь *Alosa immaculata* Bennett, 1835, азовский пузанок *Alosa caspia tanaica* (Grimm, 1901), рыбец *Vimba vimba* (L., 1758), азово-черноморская шемая *Alburnus mento* (Heckel, 1837) и др. Также велико значение группы полупроходных рыб, заходящих для размножения в низовья рек и опресненные лиманы, а нагуливающихся в солоноватоводных водах прибрежных участков Азовского моря и Таганрогском заливе. К полупроходным видам рыб в Азовском море относятся лещ *Abramis brama* (L., 1758), судак *Sander lucioperca* (L., 1758), тарань *Rutilus rutilus* (L., 1758), чехонь *Pelecus cultratus* (L., 1758) и др., по своему генезису являющиеся представителями пресноводного фаунистического комплекса [Расс, 1957]. Как правило, полупроходные виды рыб имеют

периодическое обитание в водах разной солёности: размножение и развитие молоди проходит в речных системах, лиманах, а рост, нагул и созревание – в солоноватых водах Таганрогского залива и собственно Азовского моря [Кесслер, 1877; Мейснер, 1933].

Из полупроходных рыб, обитающих в бассейне Азовского моря, наибольшее промысловое значение имели судак, лещ, тарань. Исторически, в 1930-е гг. их средний суммарный вылов превышал 68 тыс. т [Аверкиев, 1960; Уловы ..., 1993<sup>1</sup>; 1997; 2003; 2020] (рис. 1).

Для полупроходных рыб – судака, леща, тарани, рыбца оптимальная величина солёности не превышает 3‰. Однако, в Азовском бассейне они могут нагуливаться при солёности, достигающей 9-12‰. Как правило, полупроходные формы этих видов рыб, мигрирующие для нагула в солоноватые воды Азовского и Черного морей, обычно не выходят за изогалину 11‰.

Ранние стадии развития проходных и полупроходных рыб Азовского бассейна (оплодотворенная икра и личинки) могут проходить только в пресной воде, с солёностью, не превышающей 1-3‰. Молодь этих видов обладает большей эвригалинностью, в частности, для молоди леща предельная солёность составляет 8‰, рыбца – 6-7‰, черноморско-азовской проходной сельди – 8‰. Для молоди судака и тарани предельные значения солёности немного выше, но и они не превышают 11-13‰. Взрослые рыбы, скатываясь в Азовское море, способны кратковременно вы-

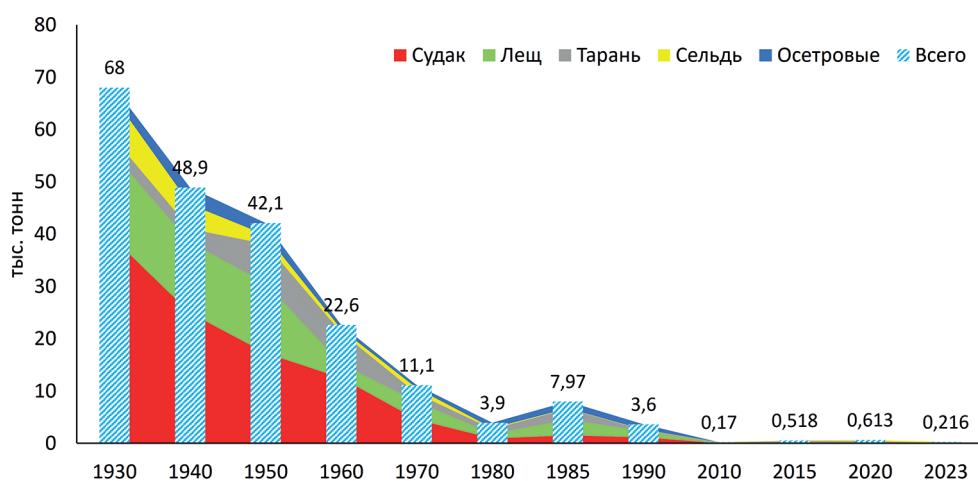


Рис. 1. Динамика уловов проходных и полупроходных рыб в бассейне Азовского моря  
Fig. 1. Dynamics of catches of anadromous and semi-anadromous fish in the Azov Sea basin

и жилые (твёрдые) формы, весь жизненный цикл которых проходит в пресноводных водоемах.

Таким образом, отличительной особенностью проходных и полупроходных видов рыб является

<sup>1</sup> Уловы рыб и нерыбных объектов рыбохозяйственными организациями Азовского бассейна и прилегающих участков Чёрного моря (1960-1990 гг.). Статистический сборник. 1993 / Ю.И. Зайднер, Л.В. Попова. СПб.: Изд-во ГосНИОРХ, 172 с.

держивать солёность до 15-17‰ [Чередников и др., 2020]. Поэтому, уровень солёности вод в наибольшей степени влияет на динамику популяций полуходных видов рыб.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Современные климатические изменения и увеличение объёма безвозвратного водопотребления в бассейнах рек Азовского моря привели к сокращению пресноводного стока и рекордному росту солёности моря до 15‰. Вследствие сокращения пресноводного стока рек Дон и Кубань, Азовское море ежегодно недополучает от 5 до 12 км<sup>3</sup> пресных вод (в среднем 8,5 км<sup>3</sup>).

В связи с этим рассматриваются 3 возможных сценария развития гидрологического режима Азовского моря и формирования его рыбопродуктивности и промысловых запасов основных объектов рыболовства на период до 2030 г. [Мирзоян и др., 2024 а]:

Сценарий 1 – наиболее вероятный, с диапазоном колебаний солёности 14,5-16,5‰, при среднем значении 15±0,40‰.

Сценарий 2 – менее вероятный, с диапазоном колебаний солёности 15,5-18,5‰, при среднем значении 17,3±0,40‰.

Сценарий 3 – наименее вероятный, с диапазоном колебаний 13,0-14,5‰ при средней солёности, 14,3±0,22‰.

Сокращение объёмов речного стока и рост солёности вод Азовского моря оказывают негативное воздействие на условия формирования запасов основных проходных и полуходных рыб (кроме осетровых видов рыб и черноморско-азовской проходной сельди). Запасы этой группы рыб в последние годы находятся на стабильно низком уровне. Основным природным фактором, определяющим состояние запасов и эффективность естественного воспроизводства проходных и полуходных рыб Азовского моря, является объём материкового стока впадающих в него рек, в первую очередь, рек Дон и Кубань.

Ниже приведён анализ многолетней динамики популяций, запасов и уловов промысловых проходных и полуходных видов рыб Азовского моря в изменяющихся экологических условиях.

**Судак** являлся наиболее массовой из ценных азовских промысловых рыб. Его максимальные уловы в период естественного режима стока рек, отмечавшиеся в 1936 и 1937 гг., достигли 71,88 и 71,55 тыс. т, при среднегодовых 31,8 тыс. т за период 1927-1951 гг. [Аверкиев, 1960].

Ежегодные изменения уловов судака определяются состоянием запаса и численностью популяции,

которые зависят от эффективности естественного воспроизводства и численности (урожайности) появляющихся поколений. При вступлении в промысел высокоурожайных поколений запас и уловы судака возрастают, и наоборот [Бойко, 1955]. Наибольшее количество урожайных поколений за период наблюдений и запас, превышающий 100 тыс. т, отмечался при естественном гидрологическом режиме Азовского моря в 1920-х – начале 1940-х гг.

Численность поколений судака определяется условиями размножения, что зависит от обводнения нерестилищ весенним стоком рек и температурного режима весны. Наиболее благоприятными для размножения судака являлись годы со средним и высоким весенним стоком, продолжительным и непрерывным обводнением нерестилищ, с тёплой и устойчивой погодой [Бойко, 1951; 1955].

Ареал половозрелого судака в Азовском море ограничен изогалиной 11‰, молоди – 6-8‰, хотя в отдельные годы судак встречался и в более соленой воде [Марти, 1938; Карпевич, 1955; Бойко, Козлитина, 1975; Аведикова, Дьякова, 1979]. В период до регулирования стока рек Дон и Кубань нагульный ареал судака занимал практически всю акваторию Азовского моря, включая Таганрогский залив, и достигал 32 тыс. км<sup>2</sup> [Бойко, 1955].

В современный период нагульный ареал судака сократился до минимальных значений и продолжает уменьшаться. Площадь ареала взрослых особей судака в 2015-2016 гг. составляла всего лишь 2,4 тыс. км<sup>2</sup>.

Солёность воды в октябре в 2023 г. в открытой части Азовского моря достигла величины 15,49‰, в Таганрогском заливе – 10,09‰, а средняя солёность всего моря – 15,06‰, что крайне неблагоприятно для судака, поэтому ареал обитания всех возрастных групп судака не превышал 1,87 тыс. км<sup>2</sup> (рис. 2).

Помимо сокращения нагульного ареала, изменения коснулись и уровня естественного воспроизводства судака. Отсутствие выраженного весеннего половодья и, соответственно, обводнения пойменных нерестилищ крайне негативно влияет на показатели естественного воспроизводства популяции судака и других полуходных видов рыб Азовского моря.

В настоящее время оказались утрачены основные, самые продуктивные нерестилища судака в пойме Нижнего Дона и кубанских лиманах.

В силу перечисленных факторов, после значительных колебаний уровня запаса в прошлом веке и сравнительно благополучного периода в 1998-2000 гг., с 2001 г. численность судака в Азовском бассейне начала резко снижаться (рис. 3).

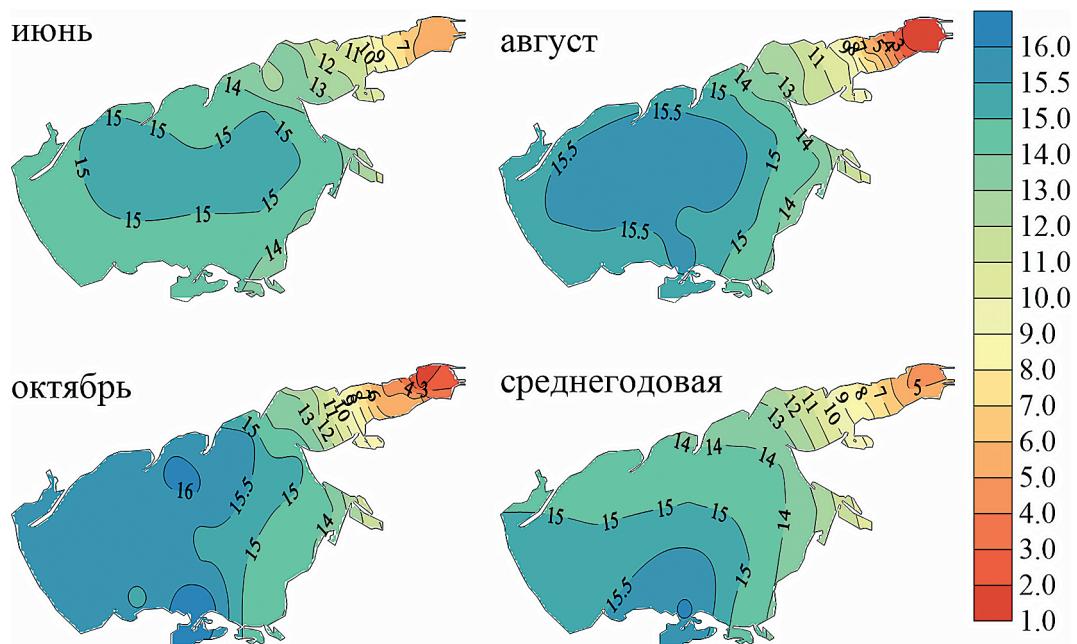


Рис. 2. Пространственное распределение солёности воды в Азовском море в 2023 г. по сезонам, ‰  
Fig. 2. Spatial distribution of water salinity in the Sea of Azov in 2023 by seasons, ‰

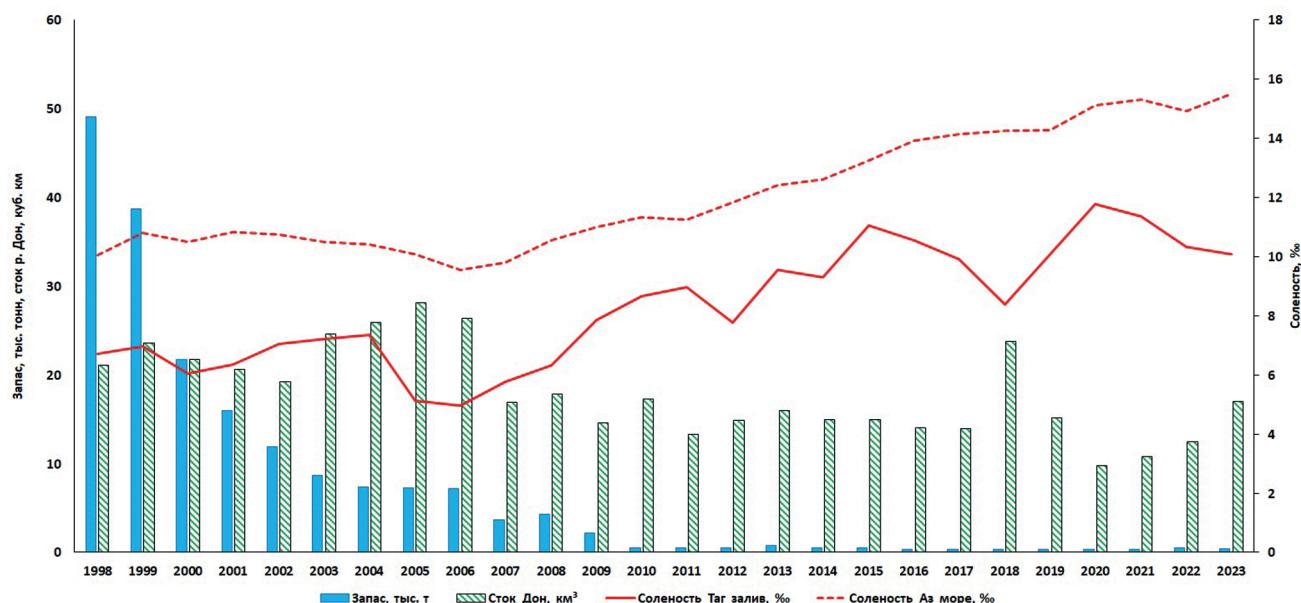


Рис. 3. Динамика запасов судака и гидрологических условий в Азовском море и Таганрогском заливе  
Fig. 3. Dynamics of pike perch stocks and hydrological conditions in the Sea of Azov and Taganrog Bay

С 2017 г. действует запрет на промышленный вылов и любительское рыболовство полупроходного судака Азовского моря, в связи с тем, что численность его популяции не превышает 0,3-0,4 млн экз., а уровень запаса в современный период не превышает 0,5 тыс. т и находится значительно ниже граничного ориентира (2 тыс. т по биомассе) для судака бассейна Азовского моря, в соответствии с «Опорными критериями предосторожности по основным промысловым

видам рыб Азовского моря (пиленгас, судак, тарань, камбала-калкан, тюлька, хамса, бычки)», утверждёнными на XXIX сессии Российской-Украинской Комиссии по вопросам рыболовства в Азовском море.

Лещ являлся вторым по значению промысловым видом среди полупроходных рыб Азовского моря. Уловы его в период 1930-1951 гг. составляли в среднем 21,0 тыс. т, максимум вылова был отмечен в 1935 и 1936 гг. – 40,78 и 46,45 тыс. т, соответственно [Авер-

киев, 1960]. Колебания уловов леща, так же, как и судака, определяются урожайностью поколений и условиями их обитания в море. Высокоурожайные поколения определяют повышение продукции и биомассы, а затем промыслового запаса и уловов [Бойко, 1951; 1955].

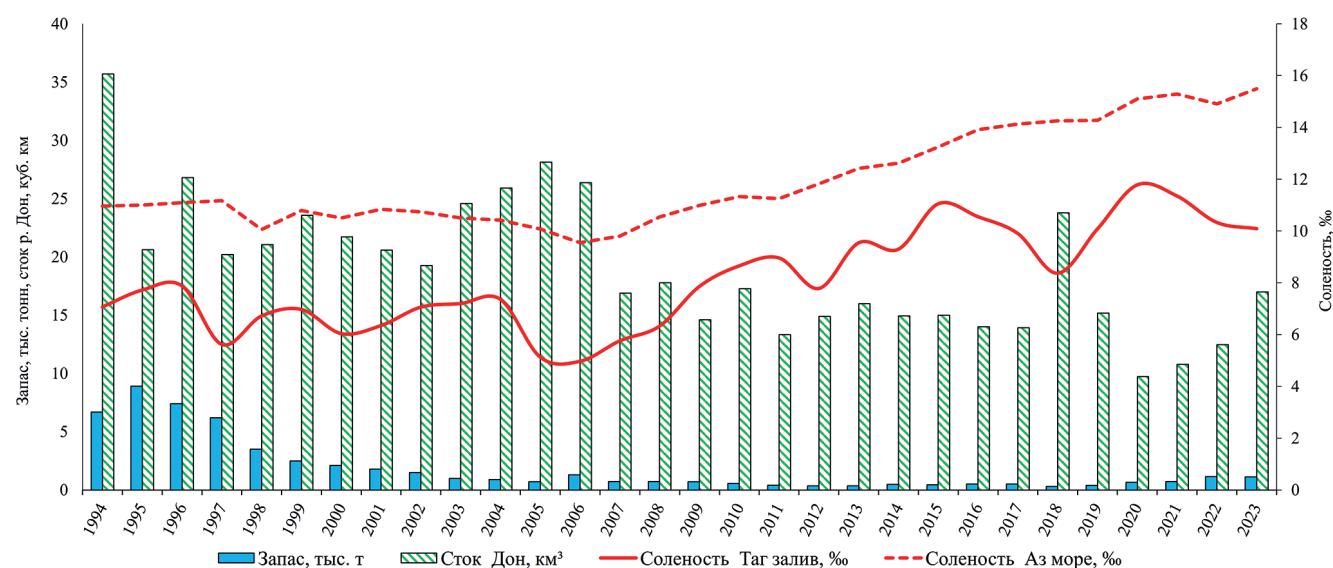
Величина пополнения популяции леща зависит от условий размножения, главным образом, от обводнения нерестилищ, преимущественно донских пойменных нерестилищ, и температурного режима в весенний период [Троицкий, 1935; Дьякова, 1975]. Незначительное или почти полное отсутствие залиния нерестилищ в пойме нижнего Дона в маловодные годы всегда сопровождалось низкой урожайностью поколений леща. Многоводные и средние по объёму весеннего стока годы с равномерным теплонакоплением, как правило, обеспечивают высокий уровень пополнения популяции [Бойко, 1951; 1955].

Основными нерестилищами леща являлись полойно-займищная система р. Дон, дельта Дона и, частично, прибрежные участки русла реки. Меньшее значение в размножении леща имели дельта р. Ея, Миусский лиман, кубанские дельтовые лиманы, низовья рек Протока и Кубань.

Пополнение (1930-1935 гг.) при солёности 9,4-9,8‰ ареал леща охватывал более 70% площади моря или 25-28 тыс. км<sup>2</sup> [Воробьев, 1938].

Повышение солёности вод Азовского моря и сокращение ареала леща приводят к снижению биомассы его популяции, и наоборот. Указанная закономерность была характерна и для периода естественного режима стока рек, когда маловодье не было устойчивым [Бойко, 1955]. Ключевым фактором, влияющим на сокращение популяции леща, как и других полупроходных рыб, является снижение водности р. Дон. Этот фактор влечёт за собой уменьшение площадей нерестилищ, повышение солёности в Таганрогском заливе до 11‰ и сокращение ареала нагула, а также ряд других последствий [Иванченко, 2014]. Запасы азовского полупроходного леща после последнего значительного весеннего паводка в нижнем Дону в 1994 г. были подвержены неуклонному снижению (рис. 4).

В современный период запасы леща находятся на стабильно низком уровне, в среднем на уровне 0,6 тыс. т, несмотря на их незначительное увеличение в 2022-2023 гг. до 1,140 тыс. т.



**Рис. 4.** Динамика запасов леща и гидрологических условий в Азовском море и Таганрогском заливе  
**Fig. 4.** Dynamics of bream stocks and hydrological conditions in the Sea of Azov and Taganrog Bay

Обитая в солоноватых водах Азовского моря, лещ среди азовских полупроходных рыб является наименее резистентным к солёности [Карпевич, 1960; Биологический режим ..., 1978<sup>2</sup>]. В период естественного режима Азовского моря в годы наибольшего распрос-

**Тарань** среди полупроходных рыб Азовского моря по объёму вылова в период естественного режима стока рек занимала третье место. Максимальные её уловы отмечались в период 1935-1936 гг., соответственно составляя 23,5 и 18,1 тыс. т, средняя годовая добыча при естественном режиме моря и впадающих нерестовых рек составляла 5,6 тыс. т [Аверкиев, 1960].

<sup>2</sup> Биологический режим Азовского моря и рыбное хозяйство: (том VI технического проекта «Регулирующее устройство в Керченском проливе»). 1978. М.: Гидропроект им. С.Я. Жука. 449 с.

Морская часть ареала тарани охватывает восточную и северо-восточную части Азовского моря, Таганрогский залив, а также в приустьевые зоны приазовских рек. При этом тарань тяготеет к прибрежным мелководным районам, а размножается преимущественно в кубанских дельтовых лиманах, в Ейском, Бейсугском и Миусском лиманах, дельте Дона [Аведикова, Баландина, 1972], а также в устьях малых рек. Тарань является более устойчивой к солёности, чем судак и лещ: её сеголетки и годовики могут обитать на акваториях с солёностью 7,5-12‰, более старшие рыбы – до 14-15‰ [Чередников и др., 2020].

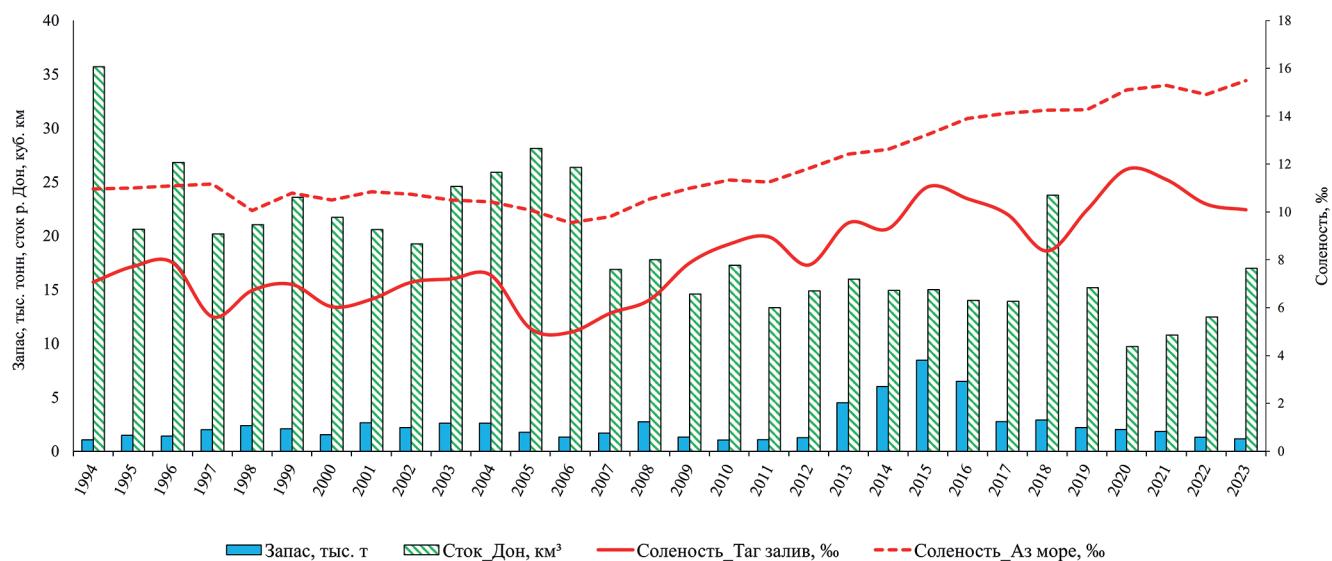
Эффективность размножения тарани обуславливается, в первую очередь, гидрометеорологическими факторами [Аведикова, 1975], количеством зашедших на нерестилища производителей и эффективностью их нереста [Цуникова, 1966; 1968; Гаргопа, 1979; Аведикова, Баландина, 1972].

При естественном гидрологическом режиме сток р. Дон в своей динамике имел как периоды с повышенной, так и пониженной водностью. При этом солёность вод как непосредственно в Азовском море, так и в Таганрогском заливе находилась в оптимальных значениях – 10,6 и 6,2‰, соответственно. Это создавало благоприятные условия для нагула на значительном по площади ареале как для производителей тарани, так и для её молоди. В Дону в многоводные годы площадь пойменных нерестилищ, обводняемая в весенний период, составляла порядка 200 тыс. га, в маловодные годы – не менее 100 тыс. га, при этом молодь тарани обычно быстро скатывалась в Таганрогский залив [Аведикова, 1971]. Однако, в современ-

ный период основными местами естественного воспроизводства тарани в бассейне Азовского моря являются лиманы Азово-Кубанского района: Ахтарско-Гривенская группа лиманов, Куликово-Курчанская, Куликово-Ордынская, Черноерковско-Сладковская, лиманы Курчанский и Ахтарский, а также Большой Ахтанизовский лиман. При этом, общая площадь лиманов нерестилищ имеет тенденцию к сокращению, так в 2022-2023 гг. она составляла лишь 0,368 тыс. км<sup>2</sup>, что ниже, чем имелось в 1960-е и 1980-е гг. – 0,700 и 0,589 тыс. км<sup>2</sup>, соответственно.

Повышение солёности снижает выживаемость тарани на различных этапах жизненного цикла. Оптимальные условия для развития икры тарани сохраняются при солёности не выше 5‰. При 10‰ наблюдается существенная гибель оплодотворенной икры. Личинки активно растут и развиваются при солёности 2,5-6‰, мальки – при 3,0-7,5‰ [Чередников и др., 2020]. Более высокие значения солёности замедляют темп роста личинок и мальков. Для взрослой тарани оптимальные условия развития и нагула сохраняются при солёности не более 9‰. При этом молодь и взрослые особи тарани могут встречаться в зонах с более высокой солёностью (до 14-15‰), однако в зонах с солёностью более 11‰ тарань долго не задерживается, предпочитая уходить в более опреснённые участки моря [Чередников и др., 2020].

Современный период осолонения Азовского моря характеризуется высокой скоростью роста солёности, достигающей 0,40‰ в год. Уже к 2016 г. изогалина 11‰, отделяющая благоприятные условия обитания тарани от экстремальных, проходила в Таганрогском



**Рис. 5. Динамика запаса тарани и гидрологических условий в Азовском море и Таганрогском заливе**

**Fig. 5. Dynamics of roach stock and hydrological conditions in the Sea of Azov and Taganrog Bay**

заливе, фактически по границе его западной и центральной частей. В 2023 г. изогалина 11% уже проходила по границе центральной и восточной частей Таганрогского залива (см. рис. 2).

По данным учётных траловых съёмок в Азовском море численность тарани в период 1995-2016 гг. составляла от 7,1 до 6,2 млн экз., а величина промыслового запаса – от 1,029 до 8,452 тыс. т. С 2017 г. начало отмечаться неуклонное снижение запаса тарани с 2,75 тыс. т до 1,163 тыс. т в 2023 г. (рис. 5), что оказалось существенно меньше соответствующих показателей предыдущего маловодного периода 1972-1976 гг.

Соответственно, уловы тарани сократились с 280 т в 2020 г. до 30 т в 2023 г. С 2025 г. планируется закрытие промышленного рыболовства тарани в связи с резким сокращением запасов.

**Проходные виды рыб**, как и полупроходные, обитают в двух разных средах – пресной и морской воде: в пресной они размножаются, в морской растут, нагуливаются и созревают. Места нагула и размножения существенно разобщены. Проходные рыбы в Азовском бассейне размножаются в реках Дон и Кубань, преимущественно в их среднем и верхнем течении. Нагуливаются и зимуют проходные рыбы в Азовском море, за исключением черноморско-азовской проходной сельди, которая значительную часть жизни, особенно в холодный период года, проводит в Чёрном море.

Промысловое значение в Азовском бассейне традиционно имели осетровые виды рыб, черноморско-азовская проходная сельдь и рыбец. Эти виды рыб не самые многочисленные, но самые ценные в составе азовской ихтиофауны.

**Осетровые виды рыб.** В бассейне Азовского моря до конца XX века промысловое значение сохраняли только два вида осетровых: русский осётр *Acipenser gueldenstaedtii* Brandt et Ratzeburg, 1833 и севрюга *A. stellatus* Pallas, 1771. Промысел белуги *Huso huso* L., 1758 был запрещен с 1985 г., и в настоящее время этот вид занесен в Красную книгу Российской Федерации. Пресноводная стерлядь *A. ruthenus* L., 1758, обитающая в крупных реках бассейна Азовского моря, также занесена в Красную книгу Российской Федерации, а исключительно редко отмечавшийся в бассейне Азовского моря шип *A. nudiventris* Lovetsky, 1828 промыслового значения никогда не имел.

За предшествующий зарегулированию стока р. Дон 25-летний период совокупный вылов осетровых рыб в бассейне Азовского моря составлял 71,13 тыс. т, при этом годовые уловы варьировали от 0,8 до 7,27 тыс. т. Наибольший вклад в общий годовой вылов осетровых рыб в Азовском море вносила севрю-

га, средний годовой улов которой в эти годы составлял 1,773 тыс. т, на втором месте был русский осётр (среднегодовой улов 0,644 тыс. т), наименьшее значение имела белуга (среднегодовой улов 0,483 тыс. т). Наибольшие уловы азовских осетровых рыб традиционно отмечались в районе нерестовых рек (Азово-Кубанский район – 44% и Азово-Донской район – 30%), а в Азово-Украинском и Азово-Крымском районах, где ловили, в основном, рыб на местах нагула, доля улова была примерно равная, чуть более 14% [Воловик и др., 2009].

После зарегулирования стока нерестовых рек Дон и Кубань, начиная с 1958 г. промышленный вылов осетровых рыб начал лимитироваться, а их уловы варьировали от 0,527 тыс. т до 1,431 тыс. т.

В 1990 г. общая численность азовских севрюги и русского осетра, оцениваемая методом прямого учёта в море, составляла 16,5 млн экз., а промысловый запас – более 50 тыс. т. В первой половине 1990-х гг. уловы осетровых рыб в бассейне Азовского моря составляли 1,0-1,2 тыс. т, возможный вылов оценивали в 1,5-2,0 тыс. т.

После распада СССР массовое развитие в Азовском море получило незаконный вылов осетровых рыб, в результате чего всего за 6-7 лет популяции севрюги и русского осетра не только потеряли промысловое значение, но и оказались на грани исчезновения. Отсутствие эффективных мер по борьбе с незаконным ловом осетровых рыб привело к тому, что за период 1992-1999 гг. оцениваемый незаконный вылов севрюги превысил 12 тыс. т, а осетра достиг почти 60 тыс. т. Эти показатели превышают официальный промысловый вылов за тот же период севрюги в 10, а осетра более чем в 30 раз. Вследствие незаконного вылова общая численность севрюги и русского осетра с 1996 к 2001 г. сократилась почти в 4 раза, численность промысловой части популяции – соответственно в 12 и 31 раз, а нерестовых частей популяций в 54 и 42 раза – до 3 и 8 тыс. особей [Реков, 2002].

В 1997 г. официальные уловы азовских осетровых рыб составили всего 0,623 тыс. т, а в 2000 г., на момент закрытия их промысла, резко сократились до 72 т. По данным учётных траловых съёмок на 2000 г. в Азовском море оставалось менее 6 млн экз. разновозрастных осетровых рыб, а их общий запас снизился до 27,4 тыс. т – более чем в 3,4 раза.

В 2000 г. решением Российско-Украинской комиссии по вопросам рыболовства в Азовском море промысел осетровых рыб был запрещён в связи с отсутствием промыслового запаса. Запрет промысла русского осетра и севрюги был мерой, направленной на предотвращение их полного истребления. Одна-

ко, и после запрета официального промысла запасы азовских осетровых рыб продолжали прогрессивно уменьшаться, что было обусловлено интенсивным незаконным выловом.

В настоящее время вылов осетровых рыб в Азовском море не превышает нескольких десятков килограммов в научно-исследовательских целях (рис. 6).

После вхождения Республики Крым, Херсонской и Запорожской областей, а также Донецкой Народной Республики в состав Российской Федерации вся акватория Азовского моря перешла под контроль российских рыбоохраных структур, что значительно сократило воздействие ННН-вылова. Поэтому появилась перспектива восстановления промысловых запасов азовских осетровых рыб за счёт искусственного воспроизводства, при условии эффективной борьбы с незаконным выловом [Мирзоян и др., 2024 б].

Начиная с 2010 г., отмечается постепенное увеличение количества выпускаемой рыбоводными предприятиями осетровой молоди. В результате, к 2020-2021 гг. общее количество выпускаемой молоди достигло 9,1 и 10,3 млн экз. соответственно. Особо следует отметить, что в 2021 г. Донским осетровым заводом впервые с 2002 г. в значительном количестве был проведён выпуск молоди белуги – более 0,5 млн экз. В 2022 г. осетровыми заводами Азовского бассейна всего было выпущено уже 14,913 млн экз. молоди осетровых видов рыб, в том числе 6,37 млн экз. моло-

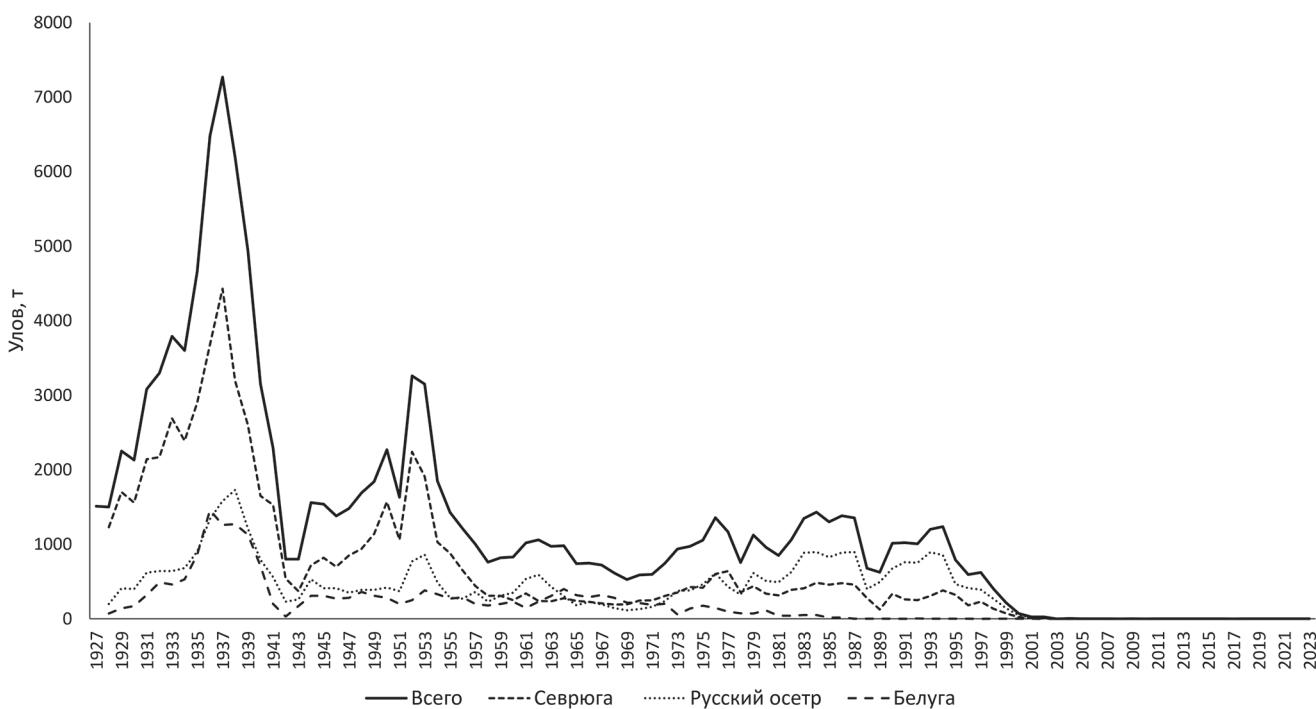
ди русского осетра и 1,062 млн экз. севрюги. В 2023 г. показатели выпуска молоди оказались выше – 18,423 млн экз. молоди всех осетровых видов рыб, в том числе 6,501 млн экз. молоди русского осетра, 0,960 млн экз. севрюги и 0,343 млн экз. белуги.

Таким образом, восстановление запасов азовских проходных осетровых рыб – русского осетра и севрюги будет определяться двумя факторами – масштабами их искусственного воспроизводства и эффективностью борьбы с ННН-промышленностью в Азовском море.

**Черноморско-азовская проходная сельдь.** Период до зарегулирования стока р. Дон характеризовался высоким уровнем запасов сельди. Уловы, несмотря на значительные колебания по годам от 0,760 до 10,0 тыс. т, сохранялись на высоком уровне, при этом средний годовой вылов сельди составлял 3,6 тыс. т.

После зарегулирования р. Дон отмечается уменьшение численности и уловов черноморско-азовской проходной сельди в результате изменения водного режима, связанного с антропогенным преобразованием материкового стока, при этом условия для размножения и выживания молоди сельди значительно ухудшились.

Анализ многолетних данных по динамике численности сельди, а также условий её размножения, позволил выявить чёткую корреляцию между величиной урожайности поколений сельди и объёмом водного стока. После строительства Цимлянской плотины



**Рис. 6. Динамика уловов азовских осетровых видов рыб, т [Luzhniak, 2022]**

**Fig. 6. Dynamics of catches of Azov sturgeon fish species, tons [Luzhniak, 2022]**

в 1952 г. стал возможен лишь пассивный скат икры и личинок сельди в Таганрогский залив, заканчивающийся в июле. Повышенный весенний расход воды, наблюдающийся в р. Дон в многоводные годы, и обусловленное этим увеличение скорости потока улучшают условия выживания икры и личинок в русле реки (икра и личинки не опускаются в придонную часть потока). Значительное опреснение Таганрогского залива, отмечающееся в годы с высоким весенним паводком, увеличивало нагульные площади молоди сельди, откармливающейся в этом районе в течение лета.

В маловодные годы, напротив, гибель икры сельди возрастала. При низких расходах воды и снижении скоростей течения в р. Дон икра сельди опускается в придонный слой речного потока и погибает. Было отмечено, что количество мёртвой икры в придонном горизонте в несколько раз больше, чем в верхних слоях воды, и возрастает по мере снижения скорости течения.

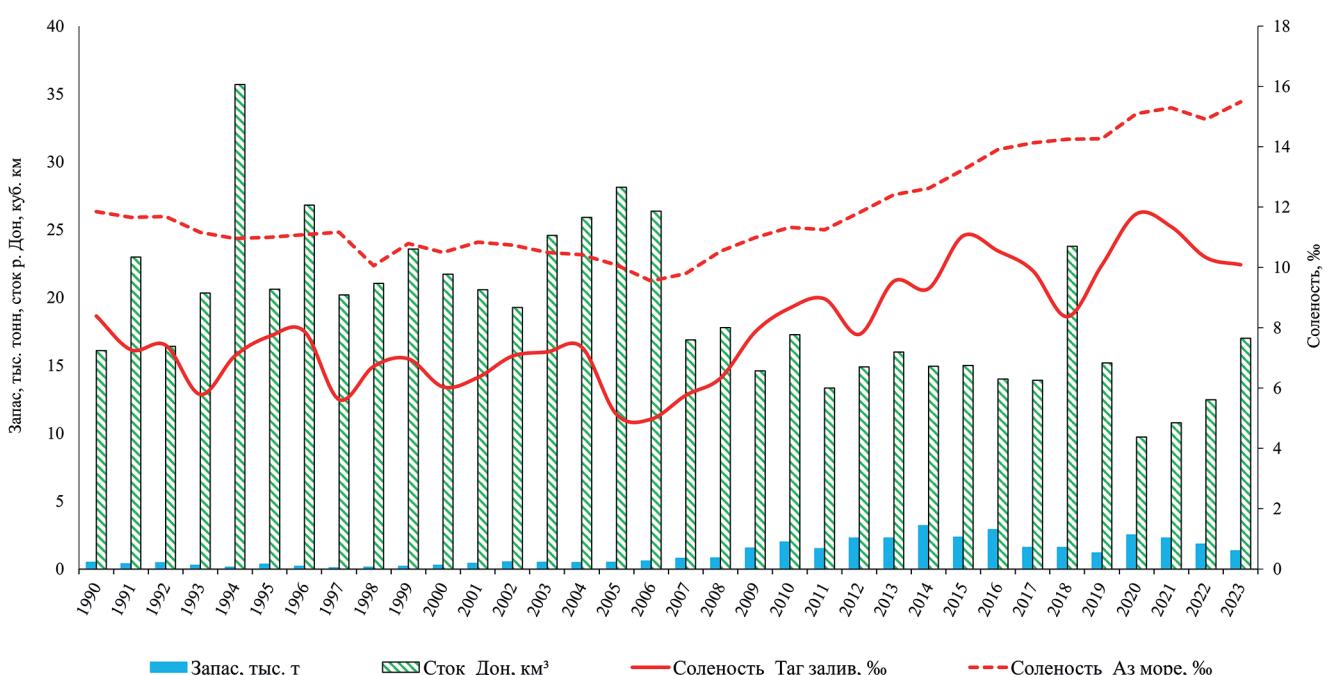
Создание Цимлянского водохранилища на р. Дон, сезонное перераспределение стока, выразившееся в сокращении весеннего половодья и снижении скоростей течения в реке почти 4 раза, а затем сооружение низконапорных гидроузлов – Кочетовского, Николаевского и Константиновского повлекли за собой сокращение нерестового ареала сельди, низкую эффективность её размножения и, как следствие, уменьшение величины запаса и промысловых уловов сельди.

В середине 1990-х гг. численность популяции черноморско-азовской проходной сельди находилась на самом низком уровне за весь период рыбохозяйственных исследований. Дополнительным фактором, обусловившим ухудшение состояния популяции, стало вселение и массовое развитие в Азово-Черноморском бассейне гребневика-мнемиописса, подорвавшего кормовую базу рыб-планктофагов. Таким образом, в период после зарегулирования стока р. Дон и интенсивных антропогенных преобразований материкового стока динамика запаса черноморско-азовской сельди испытывала значительные колебания, связанные как с воздействием антропогенных, так и биотических факторов.

В 1994 г. при промысловом запасе 150,0 т и благоприятных гидрологических условиях было получено высокоурожайное поколение сельди (рис. 7). Однако, из-за изменения условий нагула молоди сельди в Чёрном море произошло смещение мест её зимовки в воды Турции, где это поколение было практически полностью выловлено в возрасте одно- и двухгодовиков. В результате, поскольку прогнозировался низкий запас сельди, промышенный лов сельди был запрещен с 1994 г.

В 1996-1997 гг. промысел был восстановлен, но оказался нерезультативным и с 1998 г. снова был закрыт.

Начиная с 2002 г., отмечалось увеличение численности популяции черноморско-азовской проход-



**Рис. 7. Динамика запасов сельди и гидрологических условий в Азовском море и Таганрогском заливе**

**Fig. 7. Dynamics of herring stocks and hydrological conditions in the Sea of Azov and Taganrog Bay**

ной сельди. В современный период, по сравнению с первой половиной 1990-х гг., численность популяции и запасы сельди значительно возросли, и в 2004 г. промысловый запас сельди составил 0,492 тыс. т. К 2014 г. промысловый запас сельди достиг величины 3,2 тыс. т, что оказалось максимальным показателем для современного периода. Последнее урожайное поколение сельди было получено в 2018 г. в условиях относительно высокой водности р. Дон, что обеспечило рост запаса до 2,535 тыс. т в 2020 г. Тем не менее, в условиях продолжающегося периода маловодных лет в бассейне р. Дон промысловый запас сельди к 2023 г. снизился из-за низкоурожайного поколения 2019 г., полученного в р. Дон в условиях маловодья, и составил 1,525 тыс. т.

Состояние запасов и показатели уловов черноморско-азовской проходной сельди будут определяться уровнем и эффективностью её естественного воспроизводства в р. Дон в условиях продолжающегося периода маловодных лет. Существенное пополнение её запасов может происходить в отдельные годы с объёмом весеннего стока р. Дон не ниже 16-18 км<sup>3</sup>.

**Рыбец** всегда являлся немногочисленным, но потребительски ценным промысловым видом рыб Азовского бассейна, его уловы были приурочены в основном к Азово-Кубанскому и к Азово-Донскому промысловым районам. Среднегодовой вылов рыбца за период 1927-1951 гг., при естественном гидрологическом режиме Дона и Кубани, составлял 0,530 тыс. т, в том числе в Азово-Кубанском и Азово-Донском районах добывалось по 45,3% от общего вылова [Аверкиев, 1960].

Рыбец тяготеет к более опреснённым участкам Азовского моря, и солёность в 10‰ уже является для него неблагоприятной [Майский, 1951; Карпевич, 1955; 1960; Чередников и др., 2020]. В этой связи колебания средней солёности моря вызывали соответствующие изменения площади ареала рыбца, существенно сказываясь на численности популяции и физиологическом состоянии рыб.

После зарегулирования стока Дона и Кубани средние годовые уловы рыбца сократились до 20-30 т и поддерживались в основном за счёт его искусственного воспроизводства.

В Азово-Донском районе с 1958 г. молодь рыбца воспроизводится на Аксайско-Донском осетрово-рыбцовом заводе проектной мощностью 21,5 млн экз., в Азово-Кубанском районе с 1974 г. – на Краснодарском осетрово-рыбцовом-шемайном заводе проектной мощностью 140 млн экз. молоди рыбца и ше-

май, а также с 1966 г. на рыбцово-шемайном хозяйстве на оз. Солёное мощностью 12,5 млн экз.

В связи с недостатками строительства прудовой базы Аксайско-Донского осетрово-рыбцового завода, объём выпуска молоди рыбца в 1960-1970-е гг. составлял 10-15 млн экз., а в конце 1980-х гг. снизился до 6-7 млн экз.

В Азово-Кубанском районе фактические объёмы искусственного воспроизводства рыбца варьировали от 2 до 10 млн экз. вследствие недостаточной обеспеченности заводов производителями, а с середины 1980-х гг. воспроизводство молоди рыбца заводами прекратилось.

Ведущая роль искусственного воспроизводства в поддержании запасов популяции рыбца в период после зарегулирования нерестовых рек чётко отражалась на объёмах его промышленного вылова по регионам. Если в 1970-е гг. при средних ежегодных уловах рыбца на бассейне величиной 36 т третья часть объёма добывалась у кубанского побережья Азовского моря, то в следующем десятилетии этот показатель снизился до 2 %. В 1990-е гг. промысловой статистикой отражались уловы рыбца только в Азово-Донском районе, где ежегодно добывалось в среднем 6,3 т.

Тем не менее, в последние годы запасы донского рыбца находятся на невысоком, но относительно стабильном уровне (табл.).

Рыбец в бассейне р. Дон в настоящее время сохранил возможность к естественному воспроизводству. Нерестовая миграция рыбца в р. Дон начинается в октябре-ноябре, в декабре-январе ход рыбы ослабевает, интенсивность его возрастает в феврале-марте, а к середине апреля, как правило, миграция завершается, поэтому производители успевают достигать нерестилищ до установки низконапорных плотин. Нерест рыбца проходит в бассейнах рек Северский Донец, Сал, а также в русле Дона на участке от плотины Цимлянской ГЭС до Константиновского гидроузла. Однако, масштабы естественного воспроизводства рыбца существенно сократились в последние годы на фоне снижения объёма стока р. Дон, особенно в весенний период. Запас рыбца формируется низкоурожайными поколениями, так как главным фактором, определяющим численность поколений молоди, является гидрологический режим в период размножения. От водности года зависит урожайность, поведение и распределение молоди: в маловодные годы скат сеголеток рыбца незначителен, и они остаются в местах нереста до следующего года, скатываясь уже в возрасте годовика; также урожайность поколений молоди снижается из-за сокращения площади нерестилищ.

**Таблица.** Динамика запасов, рекомендованных объёмов добычи (вылова) и объёмов искусственного воспроизводства молоди рыбца

**Table.** Dynamics of stocks, recommended volumes of production (catch) and volumes of artificial reproduction of juvenile vimba

Год	Запас, т	Общий РВ, т	РВ для промысла, т	Улов, т	Освоение РВ для промысла, %	Объём искусственного воспроизводства, млн экз.
2010	135	13,5	9,2	3,52	38,261	9,0
2011	80	8	4,175	0,9	21,557	9,0
2012	74	7	5,600	9,99	178,393	9,0
2013	55,2	5	4,440	4,59	103,378	10,2
2014	65,5	6,5	5,780	5,050	87,370	8,3
2015	59	5,9	5,440	10,326	189,816	8,4
2016	54	5,4	4,473	8,287	185,267	8,4
2017	50	5	2,588	2,019	78,014	8,5
2018	78	7,6	5,188	5,638	108,674	0,05
2019	66	7	4,688	5,070	108,148	3,7740
2020	104	10	7,991	12,763	159,717	4,8083
2021	75	7,5	5,791	10,915	188,482	4,6339
2022	82	7,5	5,791	8,488	146,572	5,496240
2023	82	7,5	5,991	4,528	75,580	5,05338

В настоящее время в бассейне р. Дон продолжается период маловодных лет. В 2011-2021 гг. среднее значение суммарного годового стока составило 14,6 км<sup>3</sup>, весеннего – 3,97 км<sup>3</sup>; (в период 1994-2006 гг. годовой сток – 24 км<sup>3</sup>, весенний – 8,1 км<sup>3</sup>). В 2021 г. суммарный годовой сток р. Дон составил 10,77 км<sup>3</sup>, а весенний всего 2,62 км<sup>3</sup>, поэтому сеголетки рыбца не скатывались, оставаясь в местах нереста. В средние по водности годы (многоводные теперь маловероятны) урожайность поколений, как правило, выше. Так в 2018 г., при суммарном годовом стоке 23,55 км<sup>3</sup> и весеннем – 9,29 км<sup>3</sup>, численность сеголетков рыбца составила 7,075 млн экз.

В период 1993-2000 гг. запасы рыбца увеличивались по численности с 388 до 1082 тыс. экз., по биомассе – с 123 до 262 т.

В дальнейшем, в 2010-2017 гг., происходило постепенное сокращение величины промыслового запаса и вылова рыбца. В этот же период отмечался высокий уровень искусственного воспроизводства и выпуска молоди рыбца (см. табл.).

В последующий период (2018-2022 гг.) отмечался незначительный рост запаса рыбца и его фактического вылова, который был обусловлен многочисленным пополнением, сформированным генерациями искусственного выпуска в предшествующие годы (2010-2017 гг.). Начиная с 2018 г., отмечается существенное сокращение уровня искусственного воспроизводства

рыбца – количество выпускаемой молоди сократилось со среднемноголетнего уровня 8-10 млн экз. до объема 0,05 млн экз.

В результате промысловый запас рыбца снова начал снижаться с 104 т в 2020 г. до 82 т в 2023 г.

В последние годы запасы рыбца находятся на стабильно низком уровне 75-80 тонн, а вылов не превышает величину 4,5-10 т. В современных условиях низкой водности в бассейне р. Дон ведущую роль в формировании запасов рыбца будет играть его искусственное воспроизводство.

### **ПРОГНОЗ ДИНАМИКИ ЗАПАСОВ**

Как было отмечено выше, наиболее вероятным в среднесрочной перспективе до 2030 г. нам представляется сценарий формирования солёности вод Азовского моря с диапазоном колебаний солёности 14,5-16,5 %. В таких условиях будет сохраняться тенденция дальнейшего сокращения промысловых запасов полупроходных рыб и их стабилизация на низком уровне.

В частности, промысловый запас судака будет находиться ниже граничного критерия предосторожного ведения промысла (2 тыс. т), что не позволит осуществлять его промышленное рыболовство.

Продолжится тренд на сокращение запасов тарани в связи с неблагоприятными условиями нагула и воспроизводства. В частности, в последние годы

запас тарани неуклонно снижается вследствие сокращения её ареала в условиях растущей солёности Азовского моря, Таганрогского залива и приазовских лиманов, а также маловодья в период нереста. В ближайшие годы запас тарани достигнет граничного критерия предосторожного ведения промысла (1 тыс. т), что потребует закрытия её промышленного рыболовства.

Продолжающийся период маловодных лет в р. Дон не будет создавать предпосылок и для существенного увеличения запасов леща. Поэтому уловы леща не будут превышать 20-100 т.

Аналогичная ситуация будет с запасами рыбца, которые будут находиться на уровне 70-80 т.

Промысловый запас черноморско-азовской проходной сельди будет испытывать значительные колебания по годам (от 1,0 до 3,0 тыс. т), в зависимости от частоты возникновения средних по водности лет в бассейне р. Дон, обеспечивающих появление урожайных поколений сельди (год-аналог 2018 г.) на фоне маловодного периода. При этом, предстоящий ввод в строй Багаевского гидроузла может повлечь резкое сокращение запаса сельди, до уровня менее 0,5 тыс. т, поскольку единственным нерестовым пространством для этого вида останутся нерестовые рыбоходные каналы.

Что же касается азовских осетровых рыб, то в рассматриваемый период состояние их популяций будет напрямую зависеть от величины искусственного воспроизводства и уровня ННН-промысла. Установление полного контроля Российской Федерации над всей акваторией Азовского моря и увеличение количества выпускаемой молоди осетровых рыб в последние годы позволяют прогнозировать усиление тенденции восстановления численности осетровых рыб в Азовском море.

При менее вероятном сценарии формирования солёности вод Азовского моря с диапазоном колебаний солёности 15,5-18,5% проходные и полупроходные рыбы Азовского моря полностью потеряют промысловое значение, а уровень их естественного воспроизводства сможет поддерживать лишь существование видов в ареале. Судак, лещ, тарань и рыбец практически полностью утратят свои нагульные ареалы в Азовском море и Таганрогском заливе, а обводнение их нерестилищ в весенний период будет носить эпизодический характер и на крайне ограниченной площади. Существует риск постепенной утраты полупроходных форм этих видов рыб в Азовском море.

Запас черноморско-азовской проходной сельди в условиях хронического маловодья и ввода в строй Багаевского гидроузла на р. Дон будет формировать-

ся исключительно низкоурожайными поколениями, полученными за счёт ограниченного нереста на нерестово-рыбоходных каналах. В этой связи, с высокой вероятностью, сельдь также потеряет промысловое значение.

Исключение могут составить лишь осетровые виды рыб, для которых уровень солёности 18,5% не является лимитирующим фактором. Формирование их промысловых запасов будет происходить исключительно за счёт искусственного воспроизводства.

В качестве наименее вероятного сценария развития гидрологического режима Азовского моря нами также рассмотрено постепенное снижение солёности Азовского моря до уровня 13,0-14,5% и увеличение водности в бассейне р. Дон, что будет способствовать некоторому восстановлению промысловых запасов всех промысловых проходных и полупроходных рыб. Однако, это будет возможно только при условии существенного усиления охраны водных биоресурсов.

Следует отметить, что в современных условиях хозяйственное освоение поймы Нижнего Дона не позволит осуществлять полноценные рыбохозяйственные попуски даже в многоводные или средние по уровню водности годы, что не обеспечит полноценного обводнения сохранившихся пойменных нерестилищ. Поэтому формирование запасов судака, тарани, леща и прочих полупроходных видов рыб будет происходить только за счёт среднеурожайных и малоурожайных поколений.

Естественное воспроизводство проходных видов будет происходить в несколько более благоприятных условиях, поэтому следует ожидать регулярное появление урожайных поколений сельди и рыбца и, соответственно, некоторое увеличение их промысловых запасов по отношению к текущему уровню.

Для проходных осетровых видов рыб в случае повторяемости многоводных лет в бассейне р. Дон возможно ожидать их эпизодический естественный нерест (при условии завершения строительства рыбоходных каналов в обход Багаевского и Кочетовского гидроузлов).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основным природным фактором, определяющим состояние запасов и естественного воспроизводства проходных и полупроходных рыб Азовского моря, является объём материкового стока впадающих в него рек, в первую очередь, рек Дон и Кубань.

Современный период характеризуется продолжающимся циклом маловодных лет в бассейне р. Дон, что повлекло за собой беспрецедентный рост солёности Азовского моря.

Указанные факторы – объём весеннего стока Дона и Кубани, а также динамика солёности будут лимитировать запасы азовских проходных и полуходных рыб в ближайшие годы.

Запасы этих видов рыб в настоящее время находятся на самом низком уровне за всю историю рыболово-хозяйственных исследований вследствие неблагоприятных условий для их естественного воспроизводства и сокращения нагульного ареала из-за повышения солёности вод Азовского моря.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Соблюдение этических норм

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

### Финансирование

Исследование проводилось в соответствии с Государственной работой Азово-Черноморского филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ») и Центрально-го Института ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО».

### ЛИТЕРАТУРА

- Аведикова Т.М. 1971. Влияние факторов среды на распределение сеголетков судака и тарани в разных районах Азовского моря // Вопросы ихтиологии. Т. 1. Вып.3 (68). С. 484-494.
- Аведикова Т.М. 1975. Основные закономерности формирования биомассы и продукции азовской тарани // Труды ВНИРО. Т. 109. С. 9-34.
- Аведикова Т.М., Баландина Л.Г. 1972. Основные факторы, определяющие величину поколений судака и тарани в период измененного режима Азовского моря // Труды ВНИРО. Т. 83. С. 220-235.
- Аведикова Т.М., Дьякова Г.П. 1979. Продуктивность популяций полуходных рыб при меняющемся режиме Азовского моря // Труды ВНИРО. Т. 133. С. 70-83.
- Аверкиев Ф.С. 1960. Сборник статистических сведений об уловах рыб и нерыбных объектов в Азово-Черноморском бассейне за 1927-1959 гг. // Труды АзНИИРХ. Т. 1. Вып. 2. С. 2-87.
- Берг Л.С. 1949. Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран. Ч. 3. М.-Л.: Изд-во АН СССР. С. 1190-1191.
- Бойко Е.Г. 1951. Основные причины колебания запасов и пути воспроизводства донских судака и леща // Труды АзЧерНИРО. Вып. 15. С. 17-62.
- Бойко Е.Г. 1955. Эффективность естественного размножения и основные пути воспроизводства судака Азовского моря // Труды ВНИРО. Т. 31. Вып. 2. С. 108-137.
- Бойко Е.Г., Козлитина С.В. 1975. Основные закономерности колебания запаса, продукции и улова азовского судака // Труды ВНИРО. Т. 109. С. 52-72.
- Воловик Г.С., Воловик С.П., Косолапов А.Е. 2009. Водные и биологические ресурсы Нижнего Дона: состояние и проблемы управления. Новочеркасск: СевКавНИИВХ. 301 с.
- Воробьев В.П. 1938. Распределение леща в Азовском море в связи с питанием // Труды АзЧерНИРО. Вып. 11. С. 97-132.
- Гаргопа Ю.М. 1979. Гидрологические основы рыболово-хозяйственного исследования водных ресурсов Кубани и рек Восточного Приазовья. Автореф. дисс.... канд. геогр. наук. Одесса: ОГМИ. 24 с.
- Дьякова Г.П. 1975. Динамика биомасса и продукции азовского леща // Труды ВНИРО. Т. 109. С. 35-51.
- Зенкевич Л.А. 1963. Биология морей СССР. М.: Изд-во АН СССР. 739 с.
- Иванченко И.Н. 2014. Лещ (условия обитания и промысловое значение полуходной популяции р. Дон). Водные биоресурсы Азово-Черноморского бассейна. Ростов-на-Дону: АзНИИРХ. 180 с.
- Карпевич А.Ф. 1955. Отношение беспозвоночных Азовского моря к изменению солёности // Труды ВНИРО. Т. 31. Вып. 1. С. 240-275.
- Карпевич А.Ф. 1960. Акклиматизация рыб и кормовых организмов в морях СССР // Труды ВНИРО. Т. 43. Вып.1. С. 198-218.
- Кессер К.Ф. 1877. Рыбы, водящиеся и встречающиеся в Понто-Арало-Каспийской ихтиологической области // Труды Арало-Каспийской экспедиции. СПб. Т. 8. Вып. 4. 215 с.
- Марти В.Ю. 1938. О необычном ареале распределения кубанского судака в 1936 г. // Природа. № 11-12. С. 105-106.
- Майский В.Н. 1951. Материалы по распределению и численности рыб в Азовском море // Труды АзЧерНИРО. Вып. 15. С. 3-17.
- Мейснер В.И. 1933. Промысловая ихтиология. М.-Л.: Снабтехиздат. 191 с.
- Мирзоян А.В., Белоусов В.Н., Шляхов В.А., Дудкин С.И., Лужняк В.А., Надолинский В.П. 2024 а. Сценарный прогноз развития сырьевой базы рыболовства и уловов рыб в Азовском море в условиях сокращения объёмов пресноводного стока и роста солёности // Водные биоресурсы и среда обитания. Т. 7. № 3. С. 7-21.
- Мирзоян А.В., Лужняк В.А., Белоусов В.Н., Пятинский М.М., Небесихина Н.А. 2024 б. Проходные осетровые рыбы Азовского моря в условиях природных и антропогенных трансформаций водной экосистемы // Труды ВНИРО. Т. 196. С. 107-123.
- Расс Т.С. 1957. Состав и история ихтиофауны южных морей СССР в свете экологических данных // Вопросы экологии. Киев. Т. 1. С. 19-24.

- Реков Ю.И. 2002. Запасы азовских осетровых рыб: современное состояние и ближайшие перспективы // Основн. пробл. рыбного хоз-ва и охраны рыбохоз. водоёмов Азово-Черноморского басс. М.: ВНИРО. С. 265-272.
- Троицкий С.К. 1935. Материалы к оценке состояния запасов Азовско-донского леща // Работы Доно-Кубанской научн. рыбохоз. станции. Вып. 3. – С. 3-48.
- Уловы рыб и нерыбных объектов рыбохозяйственными организациями Азово-Черноморского бассейна (1990-1995 гг.). Статистический сборник 1997. / Зайдинер Ю.И., Попова Л.В. ред. Ростов-на-Дону: Изд-во «Молот». 100 с.
- Уловы рыб и нерыбных объектов рыбохозяйственными организациями Азово-Черноморского бассейна (1995-2000 гг.). Статистический сборник. 2003. / Грибанова С.Э., Зайдинер Ю.И., Ландарь Е.А., Попова Л.В., Фильчаги на И.Н. ред. Ростов-на-Дону: Эверест-М. 90 с.
- Уловы, запасы и искусственное воспроизводство водных биологических ресурсов, производство продукции аквакультуры в Азово-Черноморском рыбохозяйственном бассейне (2006-2015 гг.). Статистический сборник. 2020. / Белоусов В.Н. ред. Ростов-на-Дону: Мини-тайп. 128 с.
- Чередников С.Ю., Власенко Е.С., Жердев Н.А., Кузнецова И.Д., Лукьянов С.В. 2020. Лимитирующие факторы абиотической среды и биологические особенности важнейших промысловых мигрантов Азовского моря // Водные биоресурсы и среда обитания. Т. 3. № 1. С. 27-41.
- Цуникова Е.П. 1966. Эффективность размножения судака и тарани в Ахтарско-Гривенских лиманах // Труды АзНИИРХ. Вып. 9. С. 63-74.
- Цуникова Е.П. 1968. Биологические основы воспроизводства тарани в кубанских лиманах: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Днепропетровск: ДнепрГУ. 18 с.
- Luzhniak V.A. 2022. Population Dynamics of Sturgeon Fish (Acipenseridae, Acipenseriformes) in the Sea of Azov // Journal of Ichthyology. V. 62. No. 7. P. 1404-1418. DOI: 10.1134/S0032945222060157.
- References**
- Avedikova T.M. 1971. The influence of environmental factors on the distribution of yearlings of pike-perch and roach in different areas of the Sea of Azov // Journal of Ichthyology. V. 1. Iss. 3 (68). P. 484-494. (In Russ.).
- Avedikova T.M. 1975. Basic patterns of formation of biomass and production of Azov roach // Trudy VNIRO. V.109. P. 9-34. (In Russ.).
- Avedikova T.M., Balandina L.G. 1972. The main factors determining the size of generations of pike-perch and roach during the period of the changed regime of the Sea of Azov // Trudy VNIRO. V. 83. P. 220-235. (In Russ.).
- Avedikova T.M., Dyakova G.P. 1979. Productivity of semi-anadromous fish populations under changing conditions of the Sea of Azov // Trudy VNIRO. V. 133. P. 70-83. (In Russ.).
- Averkiev F.V. 1960. Collection of statistical information on catches of fish and non-fish objects in the Azov-Black Sea basin for 1927-1959 // Trudy AzNIIRKH. Rostov-on-Don. V. 1. Iss. 2. 75 p. (In Russ.).
- Berg L.S. 1949. Fishes of fresh waters of the USSR and neighboring countries. Part 3. Moscow-Leningrad: USSR AS Publish. P. 1190-1191. (In Russ.).
- Boyko E.G. 1951. The main reasons for fluctuations in stocks and reproduction routes of Don pike-perch and bream // Trudy AzCherNIRO. Iss. 15. P. 17-62. (In Russ.).
- Boyko E.G. 1955. Efficiency of natural reproduction and main ways of reproduction of pike-perch of the Azov Sea // Trudy VNIRO. V. 31. Iss/ 2. P. 108-137. (In Russ.).
- Boyko E.G., Kozlitina S.V. 1975. Main patterns of fluctuations in stock, production and catch of Azov pike-perch // Trudy VNIRO. V. 109. P. 52-72. (In Russ.).
- Volovik G.S., Volovik S.P., Kosolapov A.E. 2009. Water and biological resources of the Lower Don: status and management problems. Novocherkassk: SevKavNIIVH. 301 p. (In Russ.).
- Vorobyov V.P. 1938. Distribution of bream in the Azov Sea in connection with nutrition // Trudy AzCherNIRO. Krymizdat. Iss. 11. P. 97-132. (In Russ.).
- Gargopa Yu.M. 1979. Hydrological bases of fishery research of water resources of Kuban and rivers of Eastern Azov region. PhD Thes. diss. in geography. Odessa: OSMI. 24 p. (In Russ.).
- Dyakova G.P. 1975. Dynamics of biomass and production of Azov bream // Trudy VNIRO. V. 109. P. 35-51. (In Russ.).
- Zenkevich L.A. 1963. Biology of the Sea of the USSR. Moscow: USSR AS. 739 p. (In Russ.).
- Ivanchenko I.N. 2014. Bream (habitat conditions and commercial value of the semi-migratory population of the Don River). Aquatic bioresources of the Azov-Black Sea basin. Rostov-on-Don: AzNIIRKH. 180 p. (In Russ.).
- Karpevich A.F. 1955. The relationship of invertebrates of the Sea of Azov to changes in salinity // Trudy VNIRO. V. 31. Iss. 1. P. 240-275. (In Russ.).
- Karpevich A.F. 1960. Acclimatization of fish and food organisms in the seas of the USSR // Trudy VNIRO. V. 43. Iss. 1. P. 198-218. (In Russ.).
- Kesser K.F. 1877. Fishes found and encountered in the Ponto-Aral-Caspian ichthyological region // Proceedings of the Aral-Caspian expedition. St. Petersburg. V. 8. Iss. 4. 215 p. (In Russ.).
- Marty V.Yu. 1938. On the unusual distribution area of the Kuban pike-perch in 1936 // Priroda. N 11-12. P. 105-106. (In Russ.).
- Maisky V.N. 1951. Materials on the distribution and abundance of fish in the Azov Sea // Trudy AzCherNIRO. Iss. 15. P. 3-17. (In Russ.).
- Meissner V.I. 1933. Commercial ichthyology. Moscow-Leningrad: Snabtekhizdat. 191 p. (In Russ.).
- Mirzoyan A.V., Luzhnyak V.A., Belousov V.N., Pyatinskyy M.M., Nebesikhina N.A. 2024 a. Anadromous sturgeons of the Sea of Azov under conditions of natural and anthropogenic transformations of the aquatic ecosystem // Trudy VNIRO. V. 196. P. 107-123. (In Russ.).

- Mirzoyan A.V., Belousov V.N., Shlyakhov V.A., Dudkin S.I., Luzhnyak V.A., Nadolinskiy V.P.* 2024 b. Scenario forecast of the development of the fishery resources and fish catches in the Azov sea in the context of declining freshwater runoff and increasing salinity // *Aquatic Bioresources & Environment*. V. 7. N 3. P. 7-21 (In Russ.).
- Rass T.S.* 1957. Composition and history of the ichthyofauna of the southern seas of the USSR in light of ecological data // *Voprosy ekologii*. Kyiv. V. 1. P. 19-24. (In Russ.).
- Rekov Yu.I.* 2002. Stocks of Azov sturgeon fish: current state and immediate prospects // *Main problems of fisheries and protection of fishery reservoirs of the Azov-Black Sea basin*. Moscow: VNIRO Publish. P. 265-272. (In Russ.).
- Troitsky S.K.* 1935. Materials for assessing the state of stocks of the Azov-Don bream // *Proceedings of the Don-Kuban scientific fishery station*. Iss. 3. P. 3-48. (In Russ.).
- Catches of fish and non-fish objects by fishery organizations of the Azov-Black Sea basin (1990-1995)*. 1997. Statistic collection. / Zaydiner Yu.I., Popova L.V. Rostov-on-Don: Molot. 100 p. (In Russ.).
- Catches of fish and non-fish objects by fishery organizations of the Azov-Black Sea basin (1995-2000)*. Statistic collection. 2003. / Gribanova S.E., Zaydiner Yu.I., Landar E.A., Popova L.V., Filchagin I.N.. Rostov-on-Don: Everest-M. 90 p. (In Russ.).
- Catches, stocks and artificial reproduction of aquatic biological resources, production of aquaculture products in the Azov-Black Sea fishery basin (2006-2015)*. Statistical collection 2020. / V.N. Belousov ed. Rostov-on-Don: Mini-type. 128 p. (In Russ.).
- Cherednikov S.Yu., Vlasenko E.S., Zherdev N.A., Kuznetsova I.D., Lukyanov S.V.* 2020. Limiting factors of the abiotic environment and biological characteristics of important commercial migratory fish species of the Azov sea // *Aquatic Bioresources & Environment*. V. 3. N 1. P. 27-41. (In Russ.).
- Tsunikova E.P.* 1966. Efficiency of reproduction of pike-perch and roach in the Akhtarsko-Grivensky estuaries // *Trudy AzNIIRKH*. Iss. 9. P. 63-74. (In Russ.).
- Tsunikova E.P.* 1968. Biological bases of reproduction of roach in Kuban estuaries. PhD Thes. diss. in biology. Dnepropetrovsk: DnepSU. 18 p. (In Russ.).
- Luzhniak V.A.* 2022. Population Dynamics of Sturgeon Fish (Acipenseridae, Acipenseriformes) in the Sea of Azov // *Journal of Ichthyology*. V. 62. No. 7. P. 1404-1418. DOI: 10.1134/S0032945222060157.

*Поступила в редакцию 26.12.2024 г.  
Принята после рецензии 13.02.2025 г.*

УДК 612.017.12

## Аквакультура

# Молекулярно-генетические подходы к изучению устойчивости рыб к болезням

О.В. Апаликова<sup>1</sup>, М.Н. Киселева<sup>1</sup>, Д.К. Митрюшкина<sup>1</sup>, К.Е. Воронов<sup>1</sup>, Ю.Н. Лукина<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга), Набережная Макарова, 26, г. Санкт-Петербург, 199053

<sup>2</sup> Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН (ФГБУН «ИВПС ФИЦ КарНЦ РАН»), пр-т Александра Невского, 50, г. Петрозаводск, 185030

E-mail: apalikova@niorh.vniro.ru

SPIN-коды: Апаликова О.В. – 6660-4950; Киселева М.Н. – 5436-3126; Митрюшкина Д.К. – 4546-5942; Воронов К.Е. – 7341-0679; Лукина Ю.Н. – 3429-0446

**Цель обзора:** обобщить актуальные сведения о вирусных, бактериальных и паразитарных болезнях рыб, на устойчивость к которым ведутся в настоящее время поиски молекулярных маркеров. Излагаются преимущества проведения экспериментальных исследований на особях, включённых в полногеномные ассоциативные исследования в сочетании со сравнительным анализом экспрессии иммунных генов у поражённых рыб и у контрольных рыб, не подвергавшихся воздействию патогена.

**Используемые методы:** сравнительный анализ современных литературных данных, метод деконструкции, при котором тщательно были отобраны исследования, отражающие основные моменты изученных на сегодняшний день данных по иммунному ответу рыб.

**Результатом** обзора являются структурированные данные по исследованиям иммунного ответа рыб к различным патогенам.

**Значимость:** аквакультура год от года сталкивается с ростом разнообразия патогенных микроорганизмов, поражающих культивируемую рыбу. Рыбная отрасль нуждается в более эффективных и быстрых методах селекции. Традиционные селекционные подходы, нацеленные на увеличение естественной устойчивости рыб к болезням, требуют десятилетий, что связано с длительными сроками достижения половозрелости рыб. Применение полногеномных ассоциативных исследований (GWAS), а также регистрация таких маркеров, как микросателлиты и однонуклеотидные полиморфизмы (SNP), позволяет осуществлять селекцию с использованием маркерных методов. Исследования показывают, что эти технические подходы могут определять локусы количественных признаков (QTL) и выявлять особей с высокой естественной устойчивостью к болезням. Сравнительный анализ SNP у выживших и погибших рыб позволяет обнаружить специфические генетические маркеры, ассоциированные с устойчивостью, и точно определить их расположение в геноме. Полученные данные являются основой для подбора родительских генотипированных особей для выведения поколений рыб с повышенной устойчивостью в относительно короткие сроки.

**Ключевые слова:** иммунитет, аквакультура, GWAS, SNP, карантинные заболевания рыб.

## Molecular genetic approaches to the study of fish resistance to diseases

Olga V. Apalikova<sup>1</sup>, Marina N. Kiseleva<sup>1</sup>, Diana K. Mityushkina<sup>1</sup>, Konstantin E. Voronov<sup>1</sup>, Yulia N. Lukina<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> St. Petersburg branch of VNIRO (L.S. Berg «GosNIORKh»), 26, Makarov Embankment, St. Petersburg, 199053, Russia

<sup>2</sup> Northern Water Problems Institute of the KarRC RAS («NWPI KarSC RAS»), 50, Alexander Nevsky Ave, Petrozavodsk, 185030, Russia

**The purpose** of the review is to summarize current information about viral, bacterial and parasitic fish diseases, for which molecular markers are currently being investigated for resistance. The advantages of conducting experimental studies on individuals included in genome-wide associative studies in combination with a comparative analysis of immune genes expression in affected fish, affected asymptomatic and control fish that do not exposed to the pathogen.

**Methods used:** comparative analysis of modern literature data, deconstruction method: careful selecting studies that reflect the main points of the data on the immune response of fish studied to date. The review results in structured data on studies of the immune response of fish to various pathogens.

**Importance:** aquaculture is facing an increasing number of pathogenic microorganisms affecting cultivated fish from year to year. The fishing industry needs more efficient and faster breeding methods. Traditional breeding approaches aimed at increasing the natural resistance of fish to diseases require decades, which is associated with a long time to reach sexual maturity of fish. The use of genome-wide association studies (GWAS), as well as the registration of markers such as microsatellites and single nucleotide polymorphisms (SNPs), allows for selection using marker methods. Research shows that these technical approaches can identify quantitative trait loci (QTL) and identify individuals with high natural resistance to diseases. Comparative analysis of SNPs in surviving and dead fish makes it possible to detect specific genetic markers associated with resistance and accurately determine their location in the genome. The data obtained are the basis for the selection of parental genotyped individuals for breeding generations of fish with increased resistance in a relatively short time.

**Keywords:** immunity, aquaculture, GWAS, SNP, quarantine fish diseases.

## СОКРАЩЕНИЯ И ТЕРМИНЫ

AMP	- антимикробный пептид
C3	- фактор комплемента C3
GWAS	- полногеномное исследование ассоциаций
IFN	- интерферон
Ig	- иммуноглобулин
KHV	- герпес-вирус карпа кои
MHC	- главный комплекс гистосовместимости
QTL	- локусы количественных признаков
RTFS	- синдром смертности молоди радужной форели
SAA	- сывороточный амилоидный белок A
SAV	- альфа-вирус лососевых рыб
SNP	- однонуклеотидные полиморфизмы
TNF	- фактор некроза опухоли
VHSV	- вирусная геморрагическая септицемия

## ВВЕДЕНИЕ

С ростом аквакультуры во всём мире становится очевидным, что программы борьбы с заболеваниями рыб играют ключевую роль в обеспечении устойчивого развития этой отрасли, производящей натуральный белковый продукт. Вирусные, бактериальные, грибковые и паразитарные патогены представляют собой серьёзные угрозы здоровью рыб. Значительные достижения в разработке вакцин привели к тому, что на сегодняшний день доступны вакцины, способствующие формированию защитных механизмов против вирусных и бактериальных инфекций для множества видов рыб [Saloni et al., 2005; Anderson et al., 2010; Mario et al., 2016; Skjold et al., 2016; Gao et al., 2018]. Однако, программы вакцинации являются дорогостоящими, и связанные с ними расходы на препараты, трудозатраты и оборудование могут существенно влиять на рентабельность рыбоводства. Кроме того, производственные потери от гибели рыб могут происходить как до, так и после вакцинации [Karami et al., 2020].

Общепринятый подход к усилению иммунных механизмов рыб в аквакультуре основан на применении многолетних классических селекционных программ, которые в итоге привели к успешному искусственноному отбору. При этом в качестве родителей для будущих поколений использовали рыб, выживших после заражения определённым патогеном. Однако, из-за длительного периода достижения половой зрелости у некоторых видов рыб, создание селекционных линий с повышенной устойчивостью может занять годы [Gjedrem, Baranski, 2009]. ДНК-маркёры в геноме рыб могут быть использованы для иденти-

фикации особей с признаками устойчивости к инфекционным болезням [Fraslin et al., 2020]. В геномных исследованиях активно применяются такие маркёры как микросателлиты, аллели главного комплекса гистосовместимости (MHC) [Bernatchez, Landry, 2003; Gharbi et al., 2009] и однонуклеотидные полиморфизмы (SNP) [Yang et al., 2010].

В настоящее время исследования (GWAS) доказали свою эффективность в определении локусов количественных признаков (QTL) для выявления особей с высокой естественной устойчивостью к болезням. Значительным достижением в разведении радужной форели стало создание массива данных, содержащего 57 501 однонуклеотидный полиморфизм (SNP), и их позиционирование на всех 29 хромосомах этого вида [Palti et al., 2015]. Аналогичные массивы данных также были получены для других рыб [Mugue et al., 2019], и этот молекулярный инструмент активно используется для выявления QTL, что позволяет идентифицировать особей с определённым уровнем восприимчивости / резистентности к патогенам [Fraslin et al., 2018]. Таким образом, анализ QTL может применяться для отбора соответствующих производителей, что значительно ускоряет селекционный процесс на устойчивость рыб к отдельным заболеваниям и ведёт к снижению материальных затрат отрасли в целом.

## 1. ИССЛЕДОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ К ВИРУСНЫМ ПАТОГЕНАМ РЫБ

### 1.1. Вирус геморрагической септицемии (VHSV) или вирус *Egtved*

Вирусное заболевание, вызываемое рабдовирусом VHSV, известное как вирусная геморрагическая септицемия (VHS), приводит к высокой смертности как среди культивируемых, так и у диких особей лососевых рыб. Исследования выявили ряд линий кумжи с различной восприимчивостью к этому заболеванию. Особое внимание при этом авторы уделили различиям в иммунных ответах [Karami et al., 2018]. Оценка восприимчивости каспийской кумжи (*Salmo caspius* Kessler, 1877) из искусственно выращиваемых стад и диких популяций была исследована в условиях эксперимента, в основе которого было заражение патогеном VHS. При этом у рыб, подвергавшихся воздействию вируса, определяли не только наличие, но и количество его копий. У рыб из экспериментальной группы исследовали регуляцию иммунных генов, в частности, кодирующих белки IL-8, IFN $\gamma$ , фактор роста опухоли (TGF $\beta$ ), TNF $\alpha$ , SAA, C3-4, CD8a, IgM, MHC I, MHC II и инсулиноподобный фактор роста 1 (IGF-1). Наличие IgM-, CD8a- и MHC II-позитивных клеток

в органах хозяина выявляли методами иммуногистохимии (см. табл. 1). В ходе эксперимента было установлено, что как дикая, так и кумжа, выращиваемая в аквакультуре, восприимчивы к VHSV, однако кривые смертности и связанная с ними экспрессия генов иммунных белков у них различались. Таким образом, в геноме кумжи были выявлены маркёры, указывающие на устойчивость к данному рабдовирусу. Как полагают авторы исследования, в процессе селекции эти маркёры могут служить инструментом отбора менее восприимчивых к этому вирусу особей [Verrier et al., 2013].

### 1.2. Вирус инфекционного некроза поджелудочной железы (IPNV)

Инфекционный некроз поджелудочной железы – это заболевание, вызванное вирусом IPNV, которое в настоящее время наносит значительный экономический ущерб аквакультуре атлантического лосося (*Salmo salar* L., 1758) и радужной форели (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792). Так, вирус IPN может провоцировать гибель смолтов после перевода в морскую воду, а также потерю молоди в пресноводных рыбоводных хозяйствах. IPNV представляет собой двухцепочечный РНК-вирус из сем. Birnaviridae рода *Aquabirnavirus*. В заражённых популяциях среди рыб были выявлены особи с различной восприимчи-

востью к этому патогену. Внедрение программы генетического скрининга позволило выявить локусы количественных признаков, связанные с резистентностью к IPNV [Houston et al., 2008; Moen et al., 2009; 2015]. Полногеномное сканирование локусов количественных признаков (QTL) в ходе эксперимента проводили среди потомков сибсов, у которых анализировали результаты заражения IPN в естественных условиях в морской воде. При сканировании генома были обнаружены два значимых QTL и один с неопределенным статусом. Наиболее значимый QTL был ассоциирован с 21-й группой сцепления (см. табл. 1).

### 1.3. Альфавирус лососевых рыб (SAV)

Альфавирус лососевых рыб – сферический, одноклапочечный РНК(+) вирус семейства Togaviridae, рода *Alphavirus*. Альфавирусная инфекция лососевых вызывает заболевание поджелудочной железы и приводит к серьёзным экономическим потерям в аквакультуре атлантического лосося. Для получения информации о генах и путях, способствующих устойчивости к альфавирусу лососевых, с помощью панели из 54 тысяч SNP было проведено генотипирование экспериментально инфицированных альфавирусом особей атлантического лосося в группах потомства от десяти индивидуальных скрещиваний [Aslam et al., 2020] (см. табл. 1).

**Таблица 1.** Краткое изложение основных результатов исследований объектов аквакультуры, в которых изучалась ассоциация маркеров с устойчивостью / восприимчивостью к вирусным патогенам

Объект исследования – вид	Патогенный микроорганизм	Болезнь, вызываемая патогеном	Установленные маркёры, ассоциированные с устойчивостью / восприимчивостью к патогену	Методы выявления маркеров	Ссылка
Каспийская кумжа <i>Salmo trutta caspius</i>	Вирус геморрагической септицемии (VHSV)	вирусная геморрагическая септицемия (VHS)	гены IgM, CD8 $\alpha$ , MHCII	количественная ПЦР, иммуно-гистохимия IgM-, CD8 $\alpha$ -, MHC-II-позитивных клеток	Karami et al., 2018, Verrier et al., 2013
Атлантический лосось	Вирус инфекционного некроза поджелудочной железы (IPNV)	инфекционный некроз поджелудочной железы	три QTL, наиболее значимый ассоциирован с 21-й хромосомой	полногеномное сканирование локусов количественных признаков (QTL)	Houston et al., 2008; Moen et al., 2009; 2015
Атлантический лосось	Альфавирус лососевых рыб (SAV)	альфавирусная болезнь лососевых	значимые SNP ассоциированы с 9 генами на хромосоме 3, кодирующими антивирусные эффекторные молекулы и тяжёлые цепи иммуноглобулинов	количественная ПЦР, генотипирование на основе массива чипов на 54 тысячи SNP	Aslam et al., 2020
Амурский зеркальный карп и карп кои <i>Cyprinus rex cyprinorum</i> и <i>Cyprinus carpio haematopterus</i>	Герпес-вирус карповых (KHV)	герпесвирусная болезнь карпа кои герпесвирусная болезнь карпа кои	значимый SNP в группе сцепления 44 в хромосоме 33 на расстоянии 6,5 т. п. н. от убиквитинлигазы E3, участвующей в запуске внутриклеточного противовирусного ответа	ddRAD секвенирование	Palaiokostas et al., 2018

Концентрацию вируса в организме рыб через 4 и 10 недель после заражения оценивали с помощью количественной ПЦР. Положения QTL, обнаруженные на хромосоме 3, соответствовали данным, полученным с теми же целями в других исследованиях. Было показано, что участки QTL содержат гены с известными или прогнозируемыми иммунными функциями. У девяти выявленных в эксперименте генов наблюдались различия в экспрессии. Наиболее значимые SNP были найдены в областях, где локализованы гены, кодирующие антивирусные эффекторные молекулы и тяжёлые цепи иммуноглобулинов [Aslam et al., 2020].

#### 1.4. Герпес-вирус карпа кои (KHV)

Карповые рыбы, такие как карп обыкновенный (*Cyprinus carpio* L., 1758) и его гибриды с другими видами карповых рыб подвержены инфекциям, вызываемым герпесвирусами. Герпес-вирус карповых – возбудитель герпесвирусной болезни карпов кои (KHV) является представителем сем. *Alloherpesviridae* [Haramoto et al., 2007; Waltzek et.al., 2009] (см. табл. 1).

Группа исследователей под руководством К. Палаикостаса выявила несколько локусов количественных признаков, коррелирующих с устойчивостью к этой инфекции [Palaiokostas et al., 2018]. В качестве объектов исследования генетических вариаций устойчивости к KHV были использованы амурский зеркальный карп (*Cyprinus carpio*) и карп-кои (*Cyprinus rubrofuscus* Lacépède, 1803). Проведённый эксперимент показал эффективность SNP-маркёров, полученных с помощью RAD секвенирования. SNP, выявленные таким образом, облегчили идентификацию значимого QTL, коррелирующего с устойчивостью к KHV. Так, было показано, что наиболее значимый SNP расположен на хромосоме 33 на расстоянии 6,5 т. п. н. от гена убиквитинлигазы E3 – фермента, функционально важного для инициации внутриклеточного противовирусного ответа на герпесвирусы.

Секвенирование и аннотация областей QTL позволили обозначить функциональные гены-кандидаты и SNP для дальнейшего изучения молекулярных механизмов, ассоциированных с QTL. Принимая во внимание многофакторную природу генетической устойчивости карпа обыкновенного к KHV, данные проведённого исследования, по мнению авторов, могут быть применимы в генетическом контроле ускоренной селекции [Palaiokostas et al., 2018] (см. табл. 1).

## 2. ИССЛЕДОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ К БАКТЕРИАЛЬНЫМ ПАТОГЕНАМ РЫБ

### 2.1. *Vibrio anguillarum* Bergman, 1909 (Approved Lists 1980)

*V. anguillarum* является для аквакультуры экономически значимым бактериальным патогеном. В качестве мер защиты культивируемой рыбы от этого микроорганизма в течение нескольких десятилетий используются различные вакцины [Viele et al., 1980]. Для повышения рентабельности в сравнении с дорогостоящей вакцинацией были проведены поиски молекулярно-генетические маркеров, связанных с устойчивостью к вибриозу. В результате эксперимента, основанного на инфицировании радужной форели бактерией *V. anguillarum*, с помощью анализа массива из 57 тысяч SNP был выявлен один ключевой QTL [Karami et al., 2020]. Исследователи предположили, что гены, отвечающие за резистентность, расположены на хромосоме 21, и основные SNP находятся в участках генома вблизи генов, кодирующих лёгкие цепи антител (см. табл. 2).

Гены, отвечающие за естественную защиту, могут быть выявлены через обширный скрининг, с акцентом на иммунные гены. Д.А. Чистяков и его коллеги сделали предположение о влиянии на устойчивость к *V. anguillarum* определённых вариантов гена IL-1 $\beta$ , связанного с воспалительными процессами [Chistjakov et al., 2010].

Позже это предположение было подтверждено в исследованиях, проведённых на других видах рыб, показав, что устойчивость к *V. anguillarum* у японской камбалы (*Paralichthys olivaceus* Temminck & Schlegel, 1846) [Wang et al., 2014], камбалы-тюрбо (*Scophthalmus maximus* L., 1758) и китайской камбалы (*Cynoglossus semilaevis* Günther, 1873) [Tang et al., 2016] связана с экспрессией как минимум 12 генов, кодирующих компоненты главного комплекса гистосовместимости (МНС) классов I и II [Du et al., 2011; Shao et al., 2015]. Кроме того, К. Zhang и его коллеги [2019] идентифицировали гены, ассоциированные с МНС и ядерным фактором транскрипции ядерный транскрипционный фактор каппа B (NF- $\kappa$ B), важные для повышения устойчивости к *V. anguillarum* камбалы-тюрбо (см. табл. 2).

### 2.2. *Piscirickettsia salmonis* Fryer, 1992

Заражение лососевых, вызываемое *P. salmonis*, приводит к септицемии лососевых, вызванной риккетсиями (SRS), которая представляет для аквакультуры серьёзную проблему. Исследования К. Корреа и соавторов, проведённые на атлантическом лососе, выявили QTL, связанные с устойчивостью к SRS. Наиболее

**Таблица 2.** Краткое изложение основных результатов исследований объектов аквакультуры, в которых изучалась ассоциация маркеров с устойчивостью / восприимчивостью к бактериальным патогенам

Объект исследования – вид)	Патогеный микроорганизм	Болезнь, вызываемая патогеном	Установленные маркёры, ассоциированные с устойчивостью/восприимчивостью к патогену	Методы выявления маркеров	Ссылка
Радужная форель	<i>V. anguillarum</i>	вибриоз	гены контроля устойчивости расположены на хромосоме 21, основные SNP – в участках генома, где расположены гены, кодирующие легкие цепи AT	Картирование SNP полногеномным сканированием, количественная ПЦР аннотированных генов	Karami et al., 2020
Европейский морской окунь	<i>V. anguillarum</i>	вибриоз	IL-1 $\beta$	Генотипирование IL-1 $\beta$ , семейные скрещивания с учетом известного генотипа	Chistiakov et al., 2010
Японская камбала	<i>V. anguillarum</i>	вибриоз	гены, кодирующие компоненты главного комплекса гистосовместимости (МНС) классов I и II	полногеномное сканирование SNP	Wang et al. 2014; Shao et al., 2015
Камбала-тюрбо	<i>V. anguillarum</i>	вибриоз	гены, кодирующие компоненты главного комплекса гистосовместимости (МНС) классов I и II, ядерный транскрипционный фактор каппа B (NF-кB)	Полногеномный анализ ассоциаций, количественная ПЦР для оценки дифференциальной экспрессии потенциально значимых генов	Zhang et al. 2019
Китайская камбала	<i>V. anguillarum</i>	вибриоз	гены, кодирующие компоненты главного комплекса гистосовместимости (МНС) классов I и II	генотипирование рыб с различным уровнем устойчивости по МНС I и II, картирование микросателлитных локусов	Du et al., 2011; Tang et al., 2016
Атлантический лосось	<i>P. salmon</i>	писцириккетсиз (SRS)	QTL на двух хромосомах Ssa01 и Ssa17, идентифицированы в областях генов белков иммунного ответа	генотипирование с использованием массива чипов на 50 тысяч SNP; полногеномный анализ ассоциаций.	Correa et al., 2015
Кижуч	<i>P. salmon</i>	писцириккетсиз (SRS)	SNP, ассоциированный с развитием В-клеток	ddRAD секвенирование	Barria et al., 2018
Радужная форель	<i>P. salmon</i>	писцириккетсиз (SRS)	SNP на хромосоме Omy27	генотипирование рыб с использованием массива чипов на 57 тысяч SNP; полногеномный анализ ассоциаций	Barria et al., 2019
Атлантический лосось	<i>A. salmonicida</i>	аэромоноз лососевых рыб	выживаемость коррелирует со специфическими аллелями МНС	полногеномный анализ ассоциаций	Grimholt et al., 2003; Langefors et al., 2001
Камбала-тюрбо	<i>A. salmonicida</i>	аэромоноз лососевых рыб	QTL для устойчивости в трёх группах сцепления: 4, 6 и 9; QTL ассоциированные с выживаемостью в двух группах сцепления: 6 и 9.	полногеномный анализ ассоциаций	Rodriguez-Ramilo et al., 2011
Радужная форель	<i>A. salmonicida</i>	аэромоноз лососевых рыб	2 SNP на хромосоме Omy16	полногеномный анализ ассоциаций	Marana et al., 2021
Радужная форель	<i>F. psychrophilum</i>	бактериальная холодноводная болезнь (BCWD)	QTL ассоциированные с выживаемостью в хромосоме Omy19	полногеномный анализ ассоциаций	Wiens et al. 2013; Vallejo et al. 2014
Радужная форель	<i>Y. ruckeri</i>	Геморрагическая септицемия, болезнь красного рта (ERM)	Гены IFN- $\gamma$ , TNF- $\alpha$ , антимикробных пептидов и белков острой фазы	количественная ПЦР генов иммунных белков	Zuo et al., 2020

значимые маркёры, QTL на двух хромосомах *Ssa01* и *Ssa17*, были идентифицированы в областях генов, которые могут играть важную роль в иммунном ответе на инфекцию *P. salmonis*: альфа-1,3-фукозилтрансферазы 10, рецептора А интерлейкина 31, трансдуктора сигнала интерлейкина 6, рецептора гранулоцитарного колонии-стимулирующего фактора, киназы (MAPKKK), участвующей в активации митоген-активируемой протеинкиназы (MAP), металлопротеазы ATP23, фактора 2, связанного с рецептором TNF [Correa et al., 2015] (см. табл. 2).

В то же время было показано, что некоторые семейства тихоокеанских лососей проявляют меньшую восприимчивость к инфекции [Dettlaff et al., 2015]. Эти данные предопределили исследования А. Баррия и соавторов по выявлению маркеров, ассоциированных с резистентностью к SRS, у кижуча (*Oncorhynchus kisutch* Walbaum, 1792) [Barria et al., 2018] и радужной форели [Barria et al., 2019]. Для повышения устойчивости к *P. salmonis* на основе методов маркёр-ассоциированной селекции (MAC) было проведено секвенирование ДНК с использованием технологии ddRAD.

Анализ особей с высокой устойчивостью и высокой восприимчивостью позволил среди 9 389 SNP-маркёров выявить один SNP, функционально значимый для устойчивости к *P. salmonis*, связанный с функцией развития В-клеток. По результатам полногеномного анализа ассоциаций на устойчивость к *P. salmonis* радужной форели было установлено, что SNP, идентифицированный в хромосоме 27, расположен в пределах экзона гена белка, связанного с организацией актинового цитоскелета, используемого патогеном. Другие выявленные потенциально значимые для маркёр-ассоциированной селекции гены связаны с врождённым иммунным ответом и окислительным стрессом [Barria et al., 2018; 2019] (см. табл. 2).

### 2.3. *Aeromonas salmonicida* Lehmann and Neumann, 1896

Фурункулез, вызванный *A. salmonicida*, представляет серьёзную угрозу для разведения лососевых. Смертность молоди форели в заражённой среде может превышать 80% [Marana et al., 2021]. Программы вакцинации, начатые с 1990-х годов, значительно способствовали борьбе с этим заболеванием [Midtlyng et al., 1996], однако сохранялась значимость исследований по выявлению характеристик генома рыб, связанных с естественной устойчивостью к этому патогену [Gjedrem, Gjøen, 1995; Gjøen et al., 1997]. Впоследствии было установлено, что выживаемость ат-

лантического лосося коррелирует со специфическими аллелями МНС [Grimholt et al., 2003; Langeffors et al., 2001]. Исследования, направленные на выявление QTL, связанных с устойчивостью / восприимчивостью к *A. salmonicida*, были также продолжены на других рыбах, например, соответствующие QTL были определены у камбалы-турбо [Rodriguez-Ramilo et al., 2011] (см. табл. 2).

Дальнейшие исследования выявили SNP, связанные с резистентностью к болезням у радужной форели, крайне восприимчивой к *A. salmonicida*. Сравнение SNP между восприимчивой и устойчивой форелью показало, что определённые участки генома важны для естественной устойчивости. Исследование полногеномных ассоциаций (GWAS) выявило два SNP на 16-й хромосоме, с которыми связаны 17% и 14% генетической дисперсии, соответственно. Наиболее значимый SNP (AX-89969631), который объяснял наибольшую долю генетической дисперсии, расположен в пределах второго интрона не кодирующей РНК (LOC118939552). Второй по значимости SNP (AX-89973999) был локализован в первом интроне гена, кодирующего белок 3 семейства PRA1 [Marana et al., 2021]. В непосредственной близости от локализации SNP расположены гены, кодирующие хемокиноподобные белки TAFA-1 и TAFA-4, которые принадлежат к семейству небольших секретируемых белков (см. табл. 2). Эти белки, отдалённо связанные с хемокинами CC, экспрессируются главным образом в центральной нервной системе (ЦНС), участвуя в регуляции взаимодействия иммунных и нервных клеток.

### 2.4. *Flavobacterium psychrophilum* Bernardet and Grimont, 1989

Синдром смертности молоди радужной форели (RTFS), вызванный бактериальной холодноводной болезнью (BCWD) в результате инфекции *F. psychrophilum*. Исследования выявили QTL на 19-й хромосоме радужной форели, ассоциированные с устойчивостью к BCWD [Wiens et al., 2013; Vallejo et al., 2014] (см. табл. 2). Позже результаты маркёр-ассоциированной селекции оценивали на уровне рыбоводных хозяйств [Liu et al., 2018]. По наблюдениям, среди взрослых рыб с приобретённым иммунитетом к этому патогену высокой смертности не наблюдается, а внешние признаки заболевания отсутствуют. Инфицированность взрослых особей форели подвергает риску заражения мальков, среди которых уровень смертности высок. Ожидается, что разведение рыб с естественной устойчивостью к *F. psychrophilum* снижит и уровень смертности молоди.

### 2.5. *Yersinia ruckeri* Ewing, 1978

В исследовании, направленном на оценку устойчивости к воздействию патогена *Y. ruckeri* различных пород радужной форели, было показано, что её обеспечивают главным образом врождённые иммунные реакции. Эксперимент включал контроль бактериальной нагрузки, типирование ДНК отдельных рыб и регистрацию экспрессии соответствующих генов [Zuo et al., 2020]. Молодь радужной форели заражали патогеном *Y. ruckeri* и наблюдали за развитием заболевания в течение 21 дня. Совокупная смертность достигала 42% через 12 дней после заражения, тогда как у выживших рыб никаких признаков заболевания зарегистрировано не было. Геномный анализ 1027 экземпляров форели с использованием однокодонных полиморфизмов (SNP) в качестве маркеров выявил связь между признаками (восприимчивость/устойчивость) и определёнными участками генома радужной форели. Эксперимент включал сравнительный анализ экспрессии генов врождённого и адаптивного иммунитета в жабрах, селезёнке и печени в трёх группах рыб. Первую группу рыб составили особи с клиническими признаками, умершие на 7 день после заражения. Вторая группа состояла из заражённой форели без клинических признаков на 7 день после заражения. В третью группу входили рыбы, выжившие на 21 день от начала эксперимента. В контрольной группе форели заражение патогеном не проводилось.

В первой и второй группах рыб иммунные гены, кодирующие воспалительные цитокины, включая группу интерлейкинов (IL-1 $\beta$ , IL-2 $\alpha$ , IL-6 $\alpha$ , IL-8, IL-10 $\alpha$ , IL-12, IL-17A/F2A, IL-17C1, IL-17C2, IL-22) интерферон IFN $\gamma$  и фактор некроза опухоли TNF $\alpha$ , а также белки острой фазы (SAA, C3, кателицидины, лизоцим) экспрессировались по-разному. SNP-анализ показал, что устойчивость радужной форели к *Y. ruckeri* является мультилокусным признаком. Высокий уровень экспрессии генов, кодирующих IFN- $\gamma$ , TNF- $\alpha$ , антимикробные пептиды и белки острой фазы у рыб с естественной устойчивостью к патогену подтвердил врождённый характер иммунной реакции [Zuo et al., 2020] (см. табл. 2).

## 3. ИССЛЕДОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ РЫБ К ПАРАЗИТАМ

На различных моделях «хозяин-паразит» было установлено наследование признаков устойчивости рыб к ряду паразитарных заболеваний.

### 3.1. *Neoparamoeba perurans* Young 2007

Амёбная жаберная болезнь (AGD) – одно из наиболее распространённых паразитарных заболеваний

атлантического лосося, выращиваемого на фермах. Это является источником серьёзных экономических потерь для отрасли и представляет серьёзную угрозу благополучию животных. Некоторые характеристики устойчивости атлантического лосося к амёбной болезни жабр (AGD) были описаны С.А. Бойсоном с соавторами [Boison et al, 2019]. Для прояснения генетических механизмов устойчивости к AGD у атлантического лосося, с помощью экспериментальной модели были исследованы молекулярные признаки AGD-инфекции. Был проведён сравнительный анализ транскриптомных профилей контрольных незаражённых и инфицированных рыб, после чего на основе полученных результатов был проведён полногеномный анализ ассоциаций для картирования областей генома, связанных с устойчивостью к AGD.

Изменение экспрессии большого числа генов после заражения привело к значительному увеличению транскрипции генов с функциональными свойствами в клеточной адгезии и резкому снижению количества различных компонентов генов иммунной системы. В результате полногеномного анализа ассоциаций было обнаружено, что с устойчивостью к AGD связаны участки QTL на хромосомах Ssa04, Ssa09 и Ssa13, причём, области QTL на Ssa04 и Ssa09 содержат гены представителей семейства генов кадгерина, белка, вовлечённого в процесс клеточной адгезии [Boison et al., 2019] (см. табл. 3).

### 3.2. *Caligus rogercresseyi* Boxshall and Bravo, 2000

Морские вши (*C. rogercresseyi*) – эктопаразитарные раки, для борьбы с которыми требуется применение комплекса профилактических мер. Несмотря на то, что, по наблюдениям, резистентность хозяина наследуется, мало что известно об отдельных потенциально значимых генах и механизмах их действия.

Для выявления и характеристики локусов количественных признаков (QTL), влияющих на резистентность организма-хозяина к этому эктопаразиту Д. Робледо с коллегами [Robledo et al., 2018] было проведено полногеномное генотипирование рыб. На хромосомах 3, 18 и 21 были обнаружены три QTL, объясняющие от 7 до 13% генетических вариаций в устойчивости к эктопаразиту (представленных показателями плотности раков). Определение характеристик областей этих QTL было проведено с использованием транскриптомного анализа в комплексе с данными о полногеномном секвенировании (WGS), в результате чего были определены потенциально значимые гены и возможные функциональные мутации. В частности, в пределах QTL хромосомы 3 была выявлена стоп-мутация в анти-пролиферативном факторе транскрип-

**Таблица 3.** Краткое изложение основных результатов исследований объектов аквакультуры, в которых изучалась ассоциация маркеров с устойчивостью к паразитарным патогенам

Объект исследования – вид	Патогенный микроорганизм	Болезнь, вызываемая патогеном	Установленные маркёры, ассоциированные с устойчивостью / восприимчивостью к патогену	Методы выявления маркеров	ссылка
Атлантический лосось <i>N. perurans</i>		Амёбная жаберная болезнь (AGD)	QTL на хромосомах Ssa04, Ssa09 и Ssa13	полногеномный анализ ассоциаций, количественная ПЦР генов иммунных белков	Boison et al., 2019
Атлантический лосось <i>C. rogercresseyi</i>		калигулез	три QTL хромосомах Ssa03, Ssa18 и Ssa21	транскриптомный анализ, полногеномное генотипирование	Robledo et al., 2018
Радужная форель <i>I. multifiliis</i>		ихтиофтириоз	Группа SNP на хромосомах Omy16 и Omy17	полногеномный анализ ассоциаций, количественная ПЦР генов иммунных белков	Jaafar et al., 2020
Камбала-тюрбо <i>P. dicentrarchi</i>		микропаразитарная инвазия	QTL в группах сцепления LG1, LG3, LG6, LG9, LG23	картирование QTL	Rodriguez-Ramilo et al., 2013
Радужная форель <i>M. cerebralis</i>		Вертёж лососей, миксоболёз	гены убиквитино-подобного белка, металлотионеина B, интерферон-регулирующего фактора 1	количественная ПЦР	Severin, El-Matbouli, 2007
Атлантический лосось <i>G. salaris</i>		гиродактилёз	микросателлитные локусы Ssa85, Ssa77, SSsp2216, Ssa171, Ssos1311, Ssa 42, Ssa68, Hae029 Ssa420, SSsp2215.	генотипирование по микросателлитным локусам, картирование групп сцепления	Gilbey et al., 2006
Желтохвост <i>B. seriolae</i>		бенедениоз	локусы количественных признаков BDR-1 в группе сцепления Squ2 и BDR-2 в Squ20	генотипирование по микросателлитным локусам и SNP, картирование QTL в группах сцепления	Ozaki et al., 2013
Атлантический лосось <i>L. salmonis</i>		лепеофтириоз	локусы количественных признаков	картирование QTL	Gharbi et al., 2009

ции, участвующем в регуляции Т-клеток (TOB1), а также ген неизвестного к настоящему времени белка, значительная дифференциальная аллельная экспрессия которого предполагает существование регуляторной мутации (см. табл. 3).

### 3.3. *Ichthyophthirius multifiliis* Fouquet, 1876

При отсутствии лечения в условиях замкнутого пространства (например, пруд), заражение инвазивной паразитической инфузорией *I. multifiliis* может привести к гибели более 90% популяции радужной форели. Р. Джаафар с соавторами выявили наличие QTL для устойчивости радужной форели к паразитам из рода *Ichthyophthirius*. Сравнительный анализ SNP между восприимчивыми и резистентными рыбами радужной форели выявил множество SNP на хромосомах 16 и 17, связанных с устойчивостью (см. табл. 3). Хотя иммунные гены, отвечающие за увеличение резистентности к паразитической инфузории,

не были точно установлены, у выживших особей, подвергавшихся воздействию теронтов, наблюдалась активная экспрессия генов IgM, AMPs, фактора комплемента C3, сывороточного амилоидного белка A и лизоцима, что указывает на участие как врождённых, так и адаптивных иммунных механизмов в естественной резистентности к этому паразиту [Jaafar et al., 2020].

### 3.4. *Philasterides dicentrarchi*

Морская инфузория *P. dicentrarchi* также создаёт проблемы в аквакультуре, особенно при выращивании палтуса. Отбор производителей хотя бы с частичной устойчивостью к этому паразиту мог бы значительно улучшить ситуацию в рыбоводных хозяйствах. У камбалы-тюрбо, подвергшейся воздействию данного паразита, были найдены, как минимум, два локуса QTL, коррелирующих с устойчивостью [Rodriguez-Ramilo et al., 2013] (см. табл. 3).

И амёбы, и инфузории являются одноклеточными микропаразитами, однако многоклеточные паразиты, такие как миксозоиды, моногенеи, цестоды, нематоды, акантоцефалы и ракообразные, также представляют серьёзную угрозу для здоровья рыб.

### 3.5. *Myxobolus cerebralis* Hofer, 1903

Вопросы о восприимчивых и резистентных породах радужной форели к миксозоям вида *M. cerebralis* освещались ранее [Hedrick et al., 2003]. Так, среди нескольких пород радужной форели экспериментально были выявлены значительные различия в экспрессии гена металлотионеина В в ответ на воздействие патогена: у радужной форели Hofer экспрессия гена этого белка была более чем в 5 раз выше, чем у форели Troutlodge, в которой этот показатель после воздействия патогена не изменился относительно фонового уровня. Кроме того, была проанализирована динамика экспрессии убиквитин-подобного белка 1 и интерферон-регулирующего фактора 1 в ответ на заражение *M. cerebralis*. После воздействия патогена экспрессия гена убиквитин-подобного белка 1 увеличилась более чем в 100 раз, а интерферон-регулирующего фактора 1 – более чем в 15 раз в обеих линиях радужной форели [Severin, El-Matbouli, 2007] (см. табл. 3).

### 3.6. *Gyrodactylus salaris* Malmberg, 1957

*G. salaris* – пресноводный эктопаразит лососевых, который является причиной обширных эпизоотий с массовой гибелью в популяциях дикого атлантического лосося [Malmberg, 1957]. *G. salaris* в 1975 году впервые был зарегистрирован в Норвегии. Наблюдения диких популяций атлантического лосося показали, что рыба из Балтийского моря проявляет относительную устойчивость к инфекции *G. salaris*, тогда как для популяций лосося из Норвегии или Шотландии характерна чрезвычайно высокая восприимчивость.

Вариации в ряде иммунологических путей и физиологии организма-хозяина, обусловленных влиянием как врождённого, так и приобретённого иммунитета, позволили высказать предположение о полигенном контроле устойчивости атлантического лосося к заражению *G. salaris* [Bakke et al., 1999; 2002]. Д. Гилби с соавторами выявили генетические маркёры, ассоциированные с устойчивостью атлантического лосося к пресноводной моногенеи вида *G. salaris*. Исследование проведено на основе скрининга локусов количественных признаков (QTL) для выявления молекулярных маркеров, связанных с QTL, влияющих на устойчивость к *G. salaris* у обратных скрещиваний балтийского и шотландского лосося. Характер заражения

у этих рыб был трёх различных типов: восприимчивый (экспоненциальный рост паразитов), реагирующий (паразитарная нагрузка нарастает, а затем снижается) и устойчивый (паразитарная нагрузка никогда не увеличивается). У рыб в потомстве от возвратного скрещивания были отобраны 39 микросателлитных маркеров, и с помощью линейного моделирования были изучены связи между отдельными маркерными признаками. Были определены 10 областей генома, связанных с неоднородностью как врождённой, так и приобретённой устойчивости: локусы *Ssa85*, *Ssa77* и *SSsp2216* были связаны с ранними стадиями инфекции, что предполагает их ассоциацию с врождённым иммунитетом. Локусы *Ssa171*, *Ssosl311*, *Ssa 42*, *Ssa68* и *Hae029* – со средней и/или более поздними стадиями инфекции, что указывает на связь с приобретённым иммунитетом. QTL, связанный с двумя оставшимися маркёрами, *Ssa420* и *SSsp2215*, не показал зависимости от стадии эксперимента (см. табл. 3). Таким образом, предположение о полигенном контроле устойчивости атлантического лосося к моногенеям было подтверждено [Gilbey et al., 2006].

С другой стороны, были предприняты попытки проанализировать причины различий в биологических и поведенческих характеристиках различных штаммов *G. salaris*. Было установлено, что два штамма гиродактилюса, с разными признаками приспособленности (развитие, плодовитость и поведение), имеют различия лишь по четырём нуклеотидам проанализированных последовательностей нескольких ядерных генов (суммарная длина 10 т. п. н.) [Ramírez et al., 2014].

В исследованиях Р. Рамиреса с соавторами у трёх штаммов паразитов (Batnfjordselva, Figga и Lierelva) существенных различий в их способности к заражению рыб обнаружено не было. Кроме того, не было получено никаких подтверждений гипотезы о равной восприимчивости всех норвежских и шотландских популяций атлантического лосося к *G. salaris* по сравнению с балтийскими популяциями, в которых заражение гиродактилюсом ограничено благодаря их совместной эволюции. Так, по данным анализа у некоторых рыб из юго-восточных районов Норвегии темпы роста популяции паразитов совпадали с теми, которые наблюдали у атлантического лосося из Невы и Indalsälv. Это наблюдение не поддержало гипотезу «устойчивы балтийские и восприимчивы атлантические» популяции, но предполагает гетерогенность, предположительно, связанную с селективностью иммунных генов рыб на устойчивость к другим патогенам [Ramírez et al., 2015].

Сложный механизм взаимодействия *G. salaris* с организмом хозяина требует дальнейших исследований механизмов устойчивости в целях совершенствования системы борьбы с ним.

### 3.7. *Benedenia seriolae* Yamaguti, 1934

Заражение бенеденией, эктопаразитом-двусторонней *B. seriolae* представителем моногеней, серьёзно влияет на аквакультуру морских рыб. Предполагается, что генетические вариации играют важную роль в определении восприимчивости к этому паразитарному заболеванию.

А. Озаки и др. [Ozaki et al., 2013] сообщили о выявлении QTL, связанных с устойчивостью желтохвоста (*Seriola quinqueradiata* Temminck & Schlegel, 1845) к патогенной капсалиде *B. seriolae*. Для определения генетической основы его устойчивости к этому патогену на основе картирования групп сцепления для маркеров, включая 860 микросателлитных и 142 однонуклеотидных полиморфизма (SNP), был проведён геномный и хромосомный анализ связей у нескольких групп (количество особей на группу  $n = 90$ ) желтохвоста первого поколения, полученного от природных производителей. Были идентифицированы две области локусов количественных признаков (QTL) в группах сцепления Squ2 (BDR-1) и Squ20 (BDR-2) (см. табл. 3).

### 3.8. *Lepeophtheirus salmonis* Krøyer, 1837

Лососевые вши – крупные паразитические веслоногие ракообразные, которые наносят большой экономический ущерб аквакультуре лосося. Естественная устойчивость лосося к этому эктопаразиту, предполагает наличие сложного иммунного ответа.

В исследовании С. Скугора с соавторами для выяснения иммунных механизмов, объясняющих высокую восприимчивость атлантического лосося, рассматривалась дифференциальная экспрессия генов иммунных белков в ответ на заражение *L. salmonis*. Влияние инфекции SL на экспрессию генов у атлантического лосося изучалось на протяжении всего периода заражения, начиная с копеподита через 3 дня после заражения и заканчивая взрослыми организмами (через 33 дня после заражения). Экспрессия генов была проанализирована на трёх стадиях развития в повреждённой и неповреждённой коже, селезёнке, головной почке и печени с использованием количественной ПЦР в реальном времени. Наблюдаемая динамика экспрессии генов в повреждённой коже показала признаки гиперактивности иммунных клеток и преобладание клеточного стресса, о чём свидетельствовала значительная активизация белков теплового

шока и митохондриальных белков. В целом, динамика экспрессии генов свидетельствовала о сочетании хронического стресса, замедленного заживления повреждений и нарушения иммунного статуса хозяина [Skugor et al., 2008].

Ассоциацию QTL с разными аспектами иммунного ответа на заражение *L. salmonis* исследовали К. Гарби с соавторами, выявив QTL, ассоциированные с устойчивостью к этому веслоногому ракообразному. Так, значимые QTL были обнаружены в группах сцепления LG 6 и LG 15 (см. табл. 3), но анализ QTL показал относительно слабую поддержку прямого влияния классических областей МНС на численность вшей, что частично может быть объяснено связью с другими генами, контролирующими восприимчивость к *L. salmonis* на той же хромосоме [Gharbi et al., 2009].

## 2. СЛОЖНОСТИ, СВЯЗАННЫЕ С МЕТОДИЧЕСКИМИ ПОДХОДАМИ, КОТОРЫЕ ВАЖНО УЧИТАВАТЬ ПРИ АНАЛИЗЕ ЭКСПРЕССИИ ИММУННЫХ ГЕНОВ

Обширные исследования экспрессии генов (транскриптомный анализ) являются важным дополнением к поисковым работам по отбору маркеров, углубляя наше понимание роли отдельных генов, непосредственно связанных с устойчивостью к заболеваниям [Fraslin et al., 2020].

Для этого при проведении полногеномных ассоциативных исследований необходимо сравнивать экспрессию иммунных генов у поражённых рыб, у бессимптомных носителей патогена и у контрольных рыб, не подвергавшихся воздействию. Комплексный транскриптомный анализ позволил бы выявить значительно больше генов, которые активируются в ответ на воздействие определённого патогена на организм рыбы. Это могло бы дополнить геномный анализ хромосом, содержащих SNP-маркёры [Aslam et al., 2020].

Тем не менее, из-за конститутивной экспрессии некоторых иммунных генов, участвующих в естественной устойчивости, этот подход не всегда может быть исчерпывающим. Он может способствовать пониманию иммунологических путей, вовлечённых в формирование устойчивости к болезни. Однако важно также определить уровень патогена в различных органах заражённого организма, чтобы установить, был ли доступ патогена к организму хозяина заблокирован или он все же присутствует в различных органах хозяина без проявления заболевания.

По мнению Т. Моена с соавторами, поверхностные белки, такие как кадгерин, могут влиять на восприимчивость атлантического лосося к вирусу ин-

фекционного некроза поджелудочной железы (IPNV). Исследования показали, что изменение конформации этих молекул затрудняет проникновение вируса в организм хозяина. В некоторых случаях показатель устойчивости может и не быть напрямую связан с иммунными генами и их функциями. Тем не менее, необходимо исследовать экспрессию иммунных генов у рыб как с клиническими признаками заболеваний, так и без них, поскольку результаты таких исследований могут соответствовать генам, ассоциированным с важными маркерами [Moen et al., 2015].

Этот подход представляется многообещающим, однако полученные результаты требуют критической оценки, поскольку все патогенные микроорганизмы, проникающие в организм рыб, вызывают иммунные реакции как у восприимчивых, так и у частично резистентных особей. Это было подтверждено множеством исследований, проведённых с вирусами, бактериями и паразитами различных видов рыб. Чтобы выявить возможные гены-кандидаты, необходимо проводить строгий качественный и количественный анализ, включая изменение экспрессии иммунных генов в организме рыбы и степень её заражённости патогеном. Например, дикие и культивируемые экземпляры кумжи (*Salmo trutta* L., 1758) демонстрируют разные реакции на заражение VHSV [Karami et al., 2018], в то время как атлантический лосось также проявляет различия, реагируя на SAV [Aslam et al., 2020], что позволяет отбирать гены-кандидаты для дальнейшего изучения.

Так, исследования экспрессии генов демонстрируют, что реакции на инфузорийных паразитов, таких как *I. multifiliis*, различаются как у высокочувствительных, так и у менее восприимчивых видов форели [Olsen et al., 2011; Jaafar et al., 2020], хотя иммунные гены, отвечающие за защиту, пока не были точно определены. Атлантический лосось и радужная форель, подвергшиеся воздействию ракообразного эктопаразита *L. salmonis*, показывают выраженные кожные реакции [Dalvin et al., 2020], и эти реакции варьируются у восприимчивых и устойчивых особей этих видов рыб [Holm et al., 2015]. В подобных случаях существенно критическое сопоставление, исключающее влияние паразитарной нагрузки на профиль экспрессии, поскольку различия могут быть связаны с изменениями в реакции Th2 [Braden et al., 2015].

У некоторых видов рыб, таких как жёлтый горбыль (*Larimichthys crocea*), в ответ на инфекции от *V. anguillarum* наблюдается различная экспрессия нескольких иммунных генов на протяжении времени после заражения [Dong et al., 2016; 2021; He et al.,

2016]. Также у атлантической трески (*Gadus morhua* L., 1758) [Caipang et al., 2008; Seppola et al., 2008], дорады (*Sparus aurata* L., 1758) [Lopez-Castejon et al., 2007], и морского окуня (*Dicentrarchus labrax* L., 1758) [Meloni et al., 2015] в начале процесса происходит экспрессия воспалительных цитокинов, в то время как гуморальные реакции (например, наработка IgM) [Khansari et al., 2019] усиливаются позже.

Кроме того, при оценке тяжести инфекции требуется детальный сравнительный анализ между внешними и внутренними реакциями. В нескольких исследованиях были выявлены различия в экспрессии иммунных генов между внутренними органами и жабрами [Zuo et al., 2020; Karami et al., 2020; Marana et al., 2021)], а также вариации в скорости и уровне экспрессии иммунных генов во внутренних органах инфицированных рыб [Dong et al., 2021].

Примером комплексного подхода при анализе транскриптомных данных и маркерных расположений может быть исследование QTL на устойчивость к альфавирусу лососевых у атлантического лосося, в котором М. Аслам с коллегами [Aslam et al., 2020] выявили, что наиболее значимый SNP ассоциирован с антивирусными молекулами, а группы других SNP связаны с генами, кодирующими тяжёлую цепь иммуноглобулина.

В комплексном исследовании А. Карами с соавторами, направленном на изучение полногеномных ассоциаций с устойчивостью к *V. anguillarum*, на важную роль иммуноглобулинов в устойчивости радужной форели указывало увеличение уровня иммуноглобулинов на ранних этапах после воздействия бактерии *V. anguillarum*. В исследовании была отмечена корреляция между последовательной активацией генов IgD (как мембранных, так и секретируемых форм) и размножением патогенной бактерии. Важность хромосомы 21, содержащей более 1600 аннотированных генов и значимые SNP [Karami et al., 2020]. Нуклеотидные последовательности каппа- и лямда-иммуноглобулино-подобных белков с лёгкой цепью были показаны на данной хромосоме, где также содержатся ключевые гены, важные для иммунной реакции, включая рецепторы макрофагов и естественных клеток-киллеров, пентраксины, перфорин и муцины.

Связь между устойчивостью и этими иммунными факторами может быть окончательно установлена с помощью тщательного скрининга, включая метод нокаутирования, при котором функции определённых генов блокируются, позволяя провести контрольные эксперименты и оценить их влияние на наблюдаемую резистентность к патогену.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Естественные восприимчивость либо устойчивость рыб к различным патогенам (вирусам, бактериям, паразитам и грибам) могут зависеть от множества анатомических, физиологических и иммунологических факторов. Все организмы, начиная от простейших и заканчивая высшими позвоночными, обладают набором генов, обеспечивающих определённую защиту от потенциально патогенных микроорганизмов. Некоторые из этих генов непосредственно кодируют белки, участвующие во врождённых и адаптивных иммунных механизмах. Недавние исследования продемонстрировали, что разные виды рыб имеют полную или частичную защиту от множества патогенов, таких как вирусы, бактерии, паразиты и грибы, и эти защитные характеристики расположены в геноме в виде локусов количественных признаков (QTL). Новейшие методы генотипирования рыб-хозяев позволяют локализовать маркёры, ассоциированные с устойчивостью к болезням, в определённых участках хромосом, что позволяет более детально понять механизмы, определяющие восприимчивость или резистентность к конкретным патогенам.

Хотя врождённые и адаптивные иммунные механизмы играют ключевую роль в предотвращении проникновения патогенов в организм хозяина, имеются примеры, когда специфические структурные конфигурации молекул на поверхности клеток препятствуют прилипанию вирусов к клеточной мембране и их проникновению в клетку. Все эти признаки наследуются и могут стать объектом селекции для формирования селекционных линий.

В обзоре представлены данные новейших исследований, проведённых в конце XX – начале XXI века, как примеры современных научных подходов к селекции разводимой рыбы для повышения её иммунной защиты от различных патогенов. В частности, приведены примеры применения полногеномных ассоциативных исследований (GWA), которые предоставляют информацию о том, какие маркёры должны быть использованы для отбора родительских особей с целью получения новых поколений рыб с улучшенной естественной устойчивостью к отдельным инфекционным заболеваниям.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

## Финансирование

Статья подготовлена за счёт средств гранта РНФ № 23-26-00258.

## ЛИТЕРАТУРА/ REFERENCES

- Anderson E., Clouthier S., Shewmaker W., Weighall A., Lapatra S. 2010. Inactivated infectious haematopoietic necrosis virus (IHNV) vaccines // Journal of Fish Diseases. V. 31. P. 729-745. DOI: 10.1111/j.1365-2761.2008.00960.x
- Aslam M.L., Robledo D., Krasnov A., Moghadam H.K., Hillestad B., Houston R.D., Baranski M., Boison S., Robinson N.A. 2020. Quantitative trait loci and genes associated with salmonid alphavirus load in Atlantic salmon: implications for pancreas disease resistance and tolerance // Sci Rep. 10(10393):1-15. DOI:10.1038/s41598-020-67405-8.
- Bakke T.A., Soleng A., Harris P.D. 1999. The susceptibility of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) × brown trout (*Salmo trutta* L.) hybrids to *Gyrodactylus salaris* Malmberg and *Gyrodactylus derjavini* Mikailov // Parasitology. V. 119. P. 467-481. DOI: 10.1017/s0031182099004990
- Bakke T.A., Harris P.D., Cable J. 2002. Host specificity dynamics: observations on gyrodactylid monogeneans // Int J Parasitol. V. 32. P. 281-308. DOI: 10.1016/s0020-7519(01)00331-9
- Baerwald M.R., Petersen J.L., Hedrick R.P., Schisler G., May B. 2011. A major effect of quantitative trait locus for whirling disease resistance identified in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // Heredity. V. 106. P. 920-926. DOI:10.1038/hdy.2010.137.
- Barria A., Christensen K.A., Yoshida G.M., Correa K., Jedlicki A., Lhorente J.P. 2018. Genomic predictions and genome-wide association study of resistance against *Piscirickettsia salmonis* in Coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) using ddRAD sequencing // G3. P. 1183-1194. DOI: 10.1534/g3.118.200053.
- Barria A., Marin-Nahuelpi R., Caceres P., Lopez M.E., Bassini L.N., Lhorente J.P. 2019. Single step genome wide association study for resistance to *Piscirickettsia salmonis* in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). // G3 9. P. 3833-3841. DOI: 10.1534/g3.119.400204
- Bernatchez L., Landry C. 2003. MHC studies in nonmodel vertebrates: what have we learned about natural selection in 15 years? // Evol. Biol. V. 16 P. 363-377. DOI: 10.1046/j.1420-9101.2003.00531.x
- Braden L. M., Koop B. F., Jones S. R. M. 2015. Signatures of resistance to *Lepeophtheirus salmonis* include a TH2-type response at the louse-salmon interface // Dev Comp Immunol. No 48. P. 178-191. DOI: 10.1016/j.dci.2014.09.015
- Boison S.A., Gjerde B., Hillestad B., Makvandi-Nejad S., Moghadam H.K. 2019. Genomic and Transcriptomic Analysis of Amoebic Gill Disease Resistance in Atlantic Salmon (*Salmo salar* L.) // Front Genet. DOI: 10.3389/fgene.2019.00068

- Caipang C.M.A., Hynes N., Puangkaew J., Brinchmann M.F., Kiron V. 2008. Intraperitoneal vaccination of Atlantic cod, *Gadus morhua* with heat-killed *Listonella anguillarum* enhances serum antibacterial activity and expression of immune response genes // Fish Shellfish Immunol. No 24: P. 314-322. DOI: 10.1016/j.fsi.2007.11.018
- Chistiakov D.A., Kabanov F.V., Troecklskaya O.D., Tischenko M.M. 2010. A variant of the interleukin -1 $\beta$  gene in European sea bass, *Dicentrarchus labrax* L., is associated with increased resistance against *Vibrio anguillarum* // J Fish Dis. V. 33. P. 759-767. DOI: 10.1111/j.1365-2761.2010.01182.x
- Correa K., Lhorente J.P., Lopez M.E., Bassini L., Naswa S., Deeb N. 2015. Genome-wide association analyses reveals two loci associated resistance against *Piscirickettsia salmonis* in two Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) chromosomes // BMC Genomics. V. 16. P. 854. DOI: 10.1186/s12864-015-2038-7
- Dalvin S., Jørgensen L.V.G., Kania P.W., Grotmol S., Buchmann K., Øvergård A.-C. 2020. Rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* responses to salmon louse *Lepeophtheirus salmonis*: from copepodid to adult stage // Fish Shellfish Immunol. No 103. P. 200-210
- Dettleff P., Bravo C., Patel A., Martinez V. 2015. Patterns of *Piscirickettsia salmonis* load in susceptible and resistant families of *Salmo salar* // Fish Shellfish Immunol. No 45. P. 67-71. DOI: 10.1016/j.fsi.2015.03039
- Dong X., Li J., He J., Liu W., Jiang L., Ye Y., Wu C. 2016. Anti-infective mannose receptor immune mechanism in large yellow croaker (*Larimichthys crocea*). // Fish Shellfish Immunol. No 54, C. 257-65. DOI: 10.1016/j.fsi.2016.04.006.
- Dong X., Shilin M.B., Apalikova O.V., Lukina J.N., Golotin V.A., Li J., Zhang J. 2021. The Anti-Infective Immune Mechanism of the CCL2 and CCL3 Chemokines in the Large Yellow Croaker (*Larimichthys crocea*) // Journal of Applied Ichthyology. DOI: 10.1111/jai.14214.
- Du M., Chen S.L., Liu Y., Yang J.F. 2011. MHC polymorphism and disease resistance to *Vibrio anguillarum* in 8 families of half-smooth tongue sole (*Cynoglossus semilaevis*) // BMS Genetics. V. 12. P. 78. DOI: 10.1186/1471-2156-12-78
- Fraslin C., Dechamp N., Bernard M., Krieg F., Hervet C., Guyomard R., Quillet E. 2018. Quantitative trait loci for resistance to *Flavobacterium psychrophilum* in rainbow trout: effect of the mode of infection and evidence of epistatic interactions // Genet. Sel. Evol. 50 (60), P. 1-16. DOI: 10.1186/s12711-018-0431-9.
- Fraslin C., Quillet E., Rochat T., Dechamp N., Bernadet J.-F., Collet B., Lallias D., Boudinot P. 2020. Combining multiple approaches and models to dissect the genetic architecture of resistance to infection in fish // Front Genet. 11(677) P. 1-20. DOI: 10.3389/fgene.2020.00677
- Gao Y., Pei C., Sun X., Zhang C., Li L., Kong X. 2018. Novel subunit vaccine based on grass carp reovirus VP35 protein provides protective immunity against grass carp hemorrhagic disease // Fish & Shellfish Immunology. V. 75. P. 91-98. DOI: 10.1016/j.fsi.2018.01.050
- Gharbi K., Glover K.A., Stone L.C., MacDonald E.S., Matthews L., Grimaldi U. 2009. Genetic dissection of MHC-associated susceptibility to *Lepeophtheirus salmonis* in Atlantic salmon // BMC Genet. 10. P. 20. DOI: 10.1186/1471-2156-10-20
- Gilbey J., Verspoor E., Mo T.A., Sterud E., Olstad K., Hytterød S. 2006. Identification of genetic markers associated with *Gyrodactylus salaris* resistance in Atlantic salmon *Salmo salar* // Dis Aquat Org. V. 71 P. 119-129. DOI: 10.3354/dao071119
- Gjedrem T., Baranski M. 2009. Selective breeding in aquaculture: an introduction // Methods and Technologies in Fish Biology and Fisheries. Springer Dordrecht. V. 10. P. 221. DOI: 10.1007/978-90-481-2773-3
- Gjedrem T., Gjøen H.M. 1995. Genetic variation in susceptibility of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., to furunculosis, BKD and cold water vibriosis // Aquacult Res. V. 26(2). P. 129-134. DOI: 10.1111/j.1365-2109.1995.tb00892.x
- Gjøen H.M., Refstie T., Ulla O., Gjerde B. 1997. Genetic correlations between survival of Atlantic salmon in challenge and field tests // Aquaculture. V. 158(3). P. 277-288. DOI: 10.1016/S0044-8486(97)00203-2
- Grimholt U., Larsen S., Nordmo R., Midtlyng P., Kjøeglum S., Storset A. 2003. MHC polymorphism and disease resistance in Atlantic salmon (*Salmo salar*) facing pathogens with single expressed major histocompatibility class I and class II loci // Immunogenetics. V. 55. P. 210-219. DOI: 10.1007/s00251-003-0567-8
- Haramoto E., Kitajima M., Katayama H., Ohgaki S. 2007. Detection of koi herpesvirus DNA in river water in Japan. // Fish Dis. V. 30. P. 59-61. DOI: 10.1111/j.1365-2761.2007.00778.x
- He J., Liu H., Yang J., Dong X., Wu C. 2016. Abundant members of Scavenger receptors family and their identification, characterization and expression against *Vibrio alginolyticus* infection in juvenile *Larimichthys crocea* // Fish and shellfish immunology. V. 50. P. 297-309. DOI: 10.1016/j.fsi.2016.02.009
- Hedrick R.P., McDowell T.S., Marty G.D., Fosgate G.T., Mukkatira K., Myklebust K. 2003. Susceptibility of two strains of rainbow trout (one with suspected resistance to whirling disease) to *Myxobolus cerebralis* infection // Dis Aquat Org. V. 55. P. 37-44. DOI: 10.3354/dao055037
- Holm H., Santi N., Kjøglum S., Perisic N., Skugor S., Evensen Ø. 2015. Difference in skin immune responses to infection with salmon louse (*Lepeophtheirus salmonis*) in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) of families selected for resistance and susceptibility // Fish Shellfish Immunol. No 42. P. 384-394. DOI: 10.1016/j.fsi.2014.10.038
- Houston R.D., Haley C.S., Hamilton A., Guy D.R., Tinch A.E., Taggart J.B. 2008. Major quantitative trait loci affect resistance to infectious pancreatic necrosis in Atlantic salmon (*Salmo salar*) // Genetics. V. 178. P. 1109-1115. DOI: 10.1534/genetics.107.082974
- Jaafar R., Ødegård J., Mathiessen H., Karami A.M., Marana M.H., Jørgensen L.V.G., Zuo S., Nielsen T., Buchmann K. 2020. Quantitative trait loci (QTL) associated with resistance of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* against the parasitic ciliate *Ichthyophthirius multifiliis* // J Fish Dis. 43(12). P. 1591-1602. DOI: 10.1111/jfd.13264

- Karami A.M., Bani A., Pourkazemi M., Ghasemi M., Kania P.W., Buchmann K. 2018. Comparative susceptibilities and immune reactions of wild and cultured populations of Caspian trout *Salmo trutta caspius* to VHS // Dis Aquat Org. V. 128(3) P. 187-201. DOI: 10.3354/dao03231
- Karami A.M., Mathiessen H., Ødegård J., Marana M.H., Jaafar R., Jørgensen L.V.G., Zuo S., Dalsgaard I., Nielsen T., Kania P.W., Buchmann K. 2020. Detecting a major QTL for *Vibrio anguillarum* resistance in rainbow trout // Front Genet. 11:607558. DOI: 10.3389/fgene.2020.607558
- Khansari A.R., Balasch J.C., Vallejos-Vidal E., Teles M., Fierro-Castro C., Tort L., Reyes-Lopez F.E. 2019. Comparative study of stress and immune-related transcript outcomes triggered by *Vibrio anguillarum* bacterin and air exposure stress in liver and spleen of gilthead seabream (*Sparus aurata*), zebrafish (*Danio rerio*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // Fish Shellfish Immunol. No 86. P. 436-448. DOI: 10.1016/j.fsi.2018.11.063
- Langefors A., Lohm J., Grahn M., Andersen O., Schantz V.T. 2001. Association between major histocompatibility complex class IIB alleles and resistance to *Aeromonas salmonicida* in Atlantic salmon // Proc Biol Sci. 268(1466) P. 479-485. DOI: 10.1098/rspb.2000.1378.
- Liu S., Vallejo R.L., Evenhuis J.P., Martin K.E., Hamilton A., Gao G., Palti Y. 2018. Retrospective evaluation of marker-assisted selection for resistance to bacterial cold water disease in three generations of a commercial rainbow trout breeding population // Front Genet. 9. P. 286. DOI: 10.3389/fgene.2018.00286
- Lopez-Castejon G., Sepulcre MP., Roca FJ., Castellana B., Planas JV., Meseguer J. 2007. The type II interleukin 1 receptor (IL-1RII) of the bony fish gilthead seabream *Sparus aurata* is strongly induced after infection and tightly regulated at transcriptional and post-transcriptional levels // Mol Immunol. 44. P. 2272-2780. DOI: 10.1016/j.molimm.2006.10027
- Marana M.H., Asma M., Karami A.M., Ødegård J., Zuo S., Jaafar R., Mathiessen H., Jørgensen L.V.G., Kania P.W., Dalsgaard I., Nielsen T., Buchmann K. 2021. Whole-genome association study searching QTL for *Aeromonas salmonicida* resistance in rainbow trout // Sci Rep. 11(1):17857. DOI: 10.1038/s41598-021-97437-7
- Marana M.H., Dalsgaard I., Kania P.W., Mohamed A., Hannibal J., Buchmann K. 2022. *Flavobacterium psychrophilum*: Response of Vaccinated Large Rainbow Trout to Different Strains // Biology. 11. 1701. DOI: 10.3390/biology11121701
- Mario C., Carlos M., Swetha M., Larenas J., Tobar J.A. 2016. Protective oral vaccination against infectious salmon anaemia virus in *Salmo salar* // Fish & Shellfish Immunology. V. 54. P. 54-59. DOI: 10.1016/j.fsi.2016.03.009
- Meloni M., Candusso S., Galeotti M., Volpatti D. 2015. Preliminary study on expression of antimicrobial peptides in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) following *in vivo* infection with *Vibrio anguillarum*. A time course experiment // Fish Shellfish Immunol. V. 43. P. 82-90. DOI: 10.1016/j.fsi.2014.12.016
- Midtlyng P.J., Reitan L.J., Speilberg L. 1996. Experimental studies on the efficacy and side-effects of intraperitoneal vaccination of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) against furunculosis // Fish Shellfish Immunol. V. 6(5). P. 335-350. DOI: 10.1006/fsim.1996.0034
- Moen T., Baranski M., Sonesson A.K., Kjøglum S. 2009. Confirmation and fine-mapping of a major QTL for resistance to infectious pancreatic necrosis in Atlantic salmon (*Salmo salar*): population level associations between markers and trait // BMC Genomics. V. 10. P. 368. DOI: 10.1186/1471-2164-10-368
- Moen T., Torgersen J., Santi N., Davidson W.S., Baranski M., Ødegård J. 2015. Epithelial cadherin determines resistance to infectious pancreatic necrosis virus in Atlantic salmon // Genetics. 200. P. 1313. DOI: 10.1534/genetics.115.175406
- Mugue N., Terekhanova N., Afanasyev S., Krasnov A. 2019. Transcriptome sequencing of hybrid bester sturgeon: Responses to poly (I: C) in the context of comparative immunogenomics // Fish and Shellfish Immunology. No 93. P. 888-894 DOI: 10.1016/j.fsi.2019.08.038
- Olsen M.M., Kania P.W., Heinecke R.D., Skjoedt K., Rasmussen K.J., Buchmann K. 2011. Cellular and humoral factors involved in the response of rainbow trout gills to *Ichthyophthirius multifiliis* infections: molecular and immunohistochemical studies // Fish Shellfish Immunol. V. 30. P. 859-869. DOI: 10.1016/j.fsi.2011.01.010
- Ozaki A., Yoshida K., Fuji K., Kubota S., Kai W., Aoki J. 2013. Quantitative trait loci (QTL) associated with resistance to a monogenean parasite (*Benedenia seriolae*) in yellowtail (*Seriola quinqueradiata*) through genome wide analysis // PLoS One. 8: e64987. DOI: 10.1371/journal.pone.0064987
- Palaiokostas C., Robledo D., Vesely T., Prchal M., Pokorova D., Piackova V. 2018. Mapping and sequencing of a significant quantitative trait locus affecting resistance to koi herpesvirus in common carp // G3. 8. P. 3507-3513. DOI: 10.1534/g3.118.200593
- Palti Y., Gao G., Liu S., Kent M.P., Lien S., Miller M.R. 2015. The development and characterization of a 57K single nucleotide polymorphism array for rainbow trout // Mol Ecol Resour. 15:662-672. DOI: 10.1111/1755-0998.12337
- Ramírez R., Bakke T.A., Harris P.D. 2014. Same barcode, different biology: differential patterns of infectivity, specificity and pathogenicity in two almost identical parasite strains // International Journal for Parasitology. V. 44. P. 543-549. DOI: 10.1016/j.ijpara.2014.04.003
- Ramírez R., Bakke T.A., Harris P.D. 2015. Population regulation in *Gyrodactylus salaris* – Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) interactions: testing the paradigm // Parasites & Vectors. V. 8. P. 392. DOI: 10.1186/s13071-015-0981-4
- Robledo D., Matika O., Hamilton A., Houston R.D. 2018. Genome-wide association and genomic selection for resistance to amoebic gill disease in Atlantic salmon // G3. V. 8. P. 1195-1203. DOI: 10.1534/g3.118.200075
- Robledo D., Guitierrez A.P., Barria A., Lhorente J.P., Houston R.D., Yanez J.M. 2019. Discovery and functional annotation of quantitative trait loci affecting resistance to sealice in Atlantic salmon // Front Genet. 10. P. 56.

- Rodríguez-Ramilo S.T., Toro M.A., Bouza C., Hermida M., Pardo B.G., Cabaleiro S. 2011. QTL detection for *Aeromonas salmonicida* resistance related traits in turbot (*Scophthalmus maximus*) // BMC Genomics. V. 12. P. 541. DOI: 10.1186/1471-2164-12-541
- Rodríguez-Ramilo S.T., Fernández J., Toro M.A., Bouza C., Hermida M., Fernández C., Pardo B.G., Cabaleiro S., Martínez P. 2013. Uncovering QTL for resistance and survival time to *Philasterides dicentrarchi* in turbot (*Scophthalmus maximus*) // Animal Genetics. V. 44(2). P. 149-57. DOI: 10.1111/j.1365-2052.2012.02385.x
- Saloni K., Siderakis C., Mackinnon A.M., Griffiths S.G. 2005. Use of *Arthrobacter davidianus* as a live vaccine against *Renibacterium salmoninarum* and *Piscirickettsia salmonis* in salmonids // Developmental Biology. V. 121. P. 189-197
- Seppola M., Larsen A.N., Steiro K., Robertsen B., Jensen I. 2008. Characterisation and expression analysis of the interleukin genes, IL-1 $\beta$ , IL-8 and IL-10, in Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) // Mol Immunol. V. 45. P. 887-897. DOI: 10.1016/j.molimm.2007.08.003
- Severin V.I.C., El-Matbouli M. 2007. Relative quantification of immune-regulatory genes in two rainbow trout strains, *Oncorhynchus mykiss*, after exposure to *Myxobolus cerebralis*, the causative agent of whirling disease // Parasitol. Res. V. 101. P. 1019-1027. DOI: 10.1007/s00436-007-0582-z
- Shao C., Niu Y., Rastas P., Liu Y., Xie Z., Li H., Wang L., Jiang Y., Tai S., Tian Y., Sakamoto T., Chen S. 2015. Genome-wide SNP identification for the construction of a high-resolution genetic map of Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*): applications to QTL mapping of *Vibrio anguillarum* disease resistance and comparative genomic analysis // DNA Res. 22(2). P. 161-170. DOI: 10.1093/dnares/dsv001
- Skjold P.L., Somerset I., Frost P., Villoing S. 2016. Vaccination against pancreas disease in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., reduces shedding of salmonid alphavirus // Veterinary Research. V. 47. P. 78. DOI: 10.1186/s13567-016-0362-9
- Skugor S., Glover K.A., Nilsen F., Krasnov A. 2008. Local and systemic gene expression responses of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) to infection with the salmon louse (*Lepeophtheirus salmonis*) // BMC Genomics. V. 9. P. 498. DOI: 10.1186/1471-2164-9-498
- Tang Z., Guo L., Liu Y., Shao C., Chen S., Yang G. 2016. Location of *Vibrio anguillarum* resistance-associated trait loci in half-smooth tongue sole *Cynoglossus semilaevis* at its microsatellite linkage map // Chin J Oceanol Limn. 34(6). P. 1309-1319. DOI 10.1007/s00343-016-5160-8.
- Vallejo R.L., Palti Y., Liu S., Evenhuis J.P., Gao G., Rexroad C.E. 2014. Detection of QTL in rainbow trout affecting survival when challenged with *Flavobacterium psychrophilum* // Mar Biotechnol. V. 16. P. 349-360. DOI: 10.1007/s10126-013-9553-9
- Verrier E.R., Dorson M., Mauger S., Torhy C., Ciobotaru C., Hervet C. 2013. Resistance to rhabdovirus (VHSV) in rainbow trout: Identification of a major QTL related to innate mechanisms // PLoS One. 8: e55302. DOI: 10.1371/journal.pone.0055302
- Viele D., Kertsetter T.H., Sullivan J. 1980. Adoptive transfer of immunity against *Vibrio anguillarum* in rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson, vaccinated by the immersion method // J Fish Biol. V. 17. P. 379-386. DOI: 10.1016/0145-305x(83)90031-9
- Waltzek T.B., Kelley G.O., Alfaro M.E., Kurobe T., Davison A.J., Hedrick R.P. 2009. Phylogenetic relationships in the family Alloherpesviridae // Dis. Aquat. Org. V. 84. P. 179-194. DOI:10.3354/dao02023
- Wang L., Fan C., Liu Y., Zhang Y., Liu S., Sun D., Deng H., Xu Y., Tian Y., Liao X., Xie M., Li W., Chen S. 2014. A genome scan for quantitative trait loci associated with *Vibrio anguillarum* infection resistance in Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*) by bulked segregant analysis // Mar Biotechnol. V. 16. P. 513-521. DOI: 10.1007/s10126-014-9569-9
- Wiens G., Vallejo R.L., Leeds T.D., Palti Y., Hadidi S.S., Liu S. 2013. Genetic correlation between cold water disease resistance and spleen index in a domesticated population of rainbow trout: Identification of QTL on chromosome Omy19 // PLoS One. 8: e75749. DOI: 10.1371/journal.pone.0075749
- Yang J., Benyamin B., McEvoy B.P., Gordon S., Henders A.K., Nyholt D.R., Madden P.A., Heath A.C., Martin N.G., Montgomery G.W., Goddard M.E., Visscher P.M. 2010. Common SNPs explain a large proportion of the heritability for human height // Nat Genet. V. 42. P. 565-569. DOI: 10.1038/ng.608
- Zhang K., Han M., Liu Y., Lin X., Liu X., Zhu H., He Y., Zhang Q., Liu J. 2019. Whole-genome resequencing from bulked-segregant analysis reveals gene set based association analyses for the *Vibrio anguillarum* resistance of turbot (*Scophthalmus maximus*) // Fish Shellfish Immunol. V. 88. P. 76-83. DOI: 10.1016/j.fsi.2019.02.041
- Zuo S., Karami A.M., Ødegård J., Mathiessen H., Marana M.H., Jaafar R., Jørgensen L.V.G., Abdu M., Kania P.W., Dalsgaard I., Nielsen T., Buchmann K. 2020. Immune gene expression and genome-wide association analysis in rainbow trout with different resistance to *Yersinia ruckeri* infection // Fish Shellfish Immunol. V. 106. P. 441-450. DOI: 10.1016/j.fsi.2020.07.023

Поступила в редакцию 27.12.2024 г.  
Принята после рецензии 07.03.2025 г.

УДК 551.579. (262. 54)

## Среда обитания водных биологических ресурсов

# Изменчивость гидрометеорологических условий в Керченской бухте в 2007-2024 гг.

А.Т. Кочергин, В.А. Окуневич

Керченский отдел Азово-Черноморского филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), ул. Свердлова, 2, Керчь, 298300

E-mail: kochkerch@mail.ru

SPIN-код: А.Т. Кочергин – 5494-3231; Окуневич В.А. – 6116-6934

**Цель работы:** изучение изменчивости гидрометеорологических условий в Керченской бухте в 2007-2024 гг.

**Используемые методы:** методика исследования основана на построении и анализе графиков межгодовой изменчивости среднегодовых и среднемесячных значений гидрометеорологических параметров за 2007-2024 гг., включая данные еженедельного мониторинга в период 2017-2024 гг.

**Новизна:** впервые для данного района проанализирована изменчивость условий среды для семнадцатилетнего периода, включая последние годы.

**Результаты:** проведён анализ межгодовой изменчивости за 2007-2024 гг. среднемесячных значений температуры приземного воздуха и поверхности воды, солёности вод верхнего слоя, скорости и направления приземного ветра, волнения и прозрачности воды в Керченской бухте. Выявлено преобладание положительных аномалий температуры воздуха и воды с увеличением количества жарких летних и сокращением числа зимних морозных дней по сравнению с предшествующим 50-летним периодом. Отмечены значительное увеличение солёности в 2007-2014 гг., замедление роста и стабилизация её значений после 2017 г., что в основном обусловлено адвекцией вод через Керченский пролив и ветровым режимом района. Выделены три периода в межгодовой изменчивости среднемесячной высоты волн: 2017-2019 гг. со средними, 2020-2022 гг. с пониженными и 2023-2024 гг. с повышенными значениями. Показано, что наименьшая прозрачность вод бухты ( $\leq 1.0$  м) наблюдалась в основном в феврале-марте при переменных ветрах; наибольшая ( $>3.0$  м) – с апреля по декабрь, начиная с июля 2021 г., при ветрах северных румбов и пониженной их скорости.

**Практическая значимость:** результаты, полученные в статье, будут полезны для оценки изменчивости экосистемы в таком активном промышленном и рыбохозяйственном районе как Керченская бухта.

**Ключевые слова:** температура, солёность, скорость ветра, волнение, прозрачность, изменчивость, Керченская бухта.

## Variability of the hydrometeorological conditions in Kerch Bay in 2007-2024

Anatoly T. Kochergin, Vadim A. Okunevich

Department of the Kerch, Azov-Black Sea branch of VNIRO («AzNIIRKH»), 2, Sverdlova st., Kerch, 298300, Russia

**Aim of this work** is to investigate the variability of the hydrometeorological conditions in Kerch Bay in 2007-2024.

**Methods used:** the methodology of this study involves plotting and analyzing the graphs for the long-term variability of the average monthly values of the hydrometeorological parameters for 2007-2024 based on the data collected over the course of weekly monitoring conducted from April 2017 to April 2024.

**Novelty:** for the first time, the variability of the environmental conditions in this region has been investigated for 17-year time range, including the most recent years.

**Results:** the analysis of the long-term (2007-2024) variability of the average monthly near-ground air and water surface temperature, upper water layer salinity, near-ground wind speed and direction, wave action, and water transparency in Kerch Bay has been conducted. The prevalence of positive anomalies of air and water temperature involving the increased number of hot summer days and reduction in the number of winter sub-zero cold days as compared to the preceding 50-year time range has been identified. Considerable increase in the salinity is recorded for 2007-2014, which is followed by the lowering rates of its increase and stabilization of its values after 2017, mainly due to the water advection via the Kerch Strait and the wind regime in this area. The long-term variability of the average monthly wave heights has been categorized into three time ranges: 2017-2019 characterized by medium values, 2020-2022 characterized by decreased values, and 2023-2024 characterized by increased values. It is shown that the lowest water transparency in the bay ( $\leq 1.0$  m) is recorded mainly in February–March under variable winds; the highest one ( $>3.0$  m) is observed from April to December (since July 2021) in the context of the northerly winds and the lowest average wind speed.

**Practical significance:** results obtained and discussed in this article can be vital for the assessment of the ecosystem variability in Kerch Bay as a region heavily involved into industrial and fishing activity.

**Keywords:** temperature, salinity, wind speed, wave action, transparency, variability, Kerch Bay.

## ВВЕДЕНИЕ

Керченская бухта является частью одноименно-го пролива и вдаётся в его западный берег между мысами Белый на юго-западе и Змеиный на северо-востоке. Бухта мелководная, глубины в ней не превышают 5 м.

Керченский пролив имеет большое рыбохозяй-ственное значение в Азово-Черноморском бассей-не – многие массовые виды рыб совершают через него нагульные, нерестовые, зимовальные миграции из Азовского в Чёрное море и обратно. На экологиче-ское состояние Керченской бухты оказывают влияние как антропогенные, так и природные факторы [Ере-мeeв и др., 2003].

В 1992-2007 гг. по сравнению с 1960-1991 гг. в атмосфере над исследуемым регионом ослабла ин-тенсивность преобладавшего ранее юго-восточного переноса, и стали превалировать северо-восточные ветры. Уменьшилась среднемесячная скорость ветра (особенно зимой и весной) с максимумом в марте – 5,1 м/с (ранее 7,1 м/с), минимумом в июне – 4,2 м/с (ранее 4,6 м/с) [Ломакин и др., 2010].

В течение 1992-2007 гг. среднегодовая температу-ра приземного воздуха и поверхности воды в районе Керчи возросла примерно на 2 °C и изменялась в ди-апазонах 9,7-12,4 и 12,6-13,1 °C соответственно [Ло-макин и др., 2010]. Среднегодовая температура воды была выше температуры воздуха на 1,5-2,2 °C, т. е. воды пролива оказывали отепляющее влияние в этом районе.

В 2007-2019 гг. наблюдалась тенденция сокраще-ния числа морозных зимних дней и увеличения жар-ких летних дней (с температурой воздуха выше 25 °C) по сравнению со второй половиной XX века [Ильин и др., 2009; Кочергин, Боровская, 2020].

С октября по март повторяемость слабого волнения в районе Керченской бухты составляет 60,0-70,6%; с мая по июнь она увеличивается до 70,2-78,8% от всех случаев [Дьяков и др., 2019]. Интен-сивное ветровое волнение ( $\geq 7,5$  дм) в холодный пе-риод года составляет 2,7-8,8%, а 4-балльное волне-ние – 0,1-0,5%. При этом высота волн может достигать 20 дм [Еремеев и др., 2003].

В районе Керченской бухты преобладающими в течение года являются: северное (18,4%), юго-вос-точное (16,6%), западное (15,9%) и северо-западное (13,2%) направления волнения. 4-балльное волнение в основном имеет северо-восточное (0,5%) и восточ-ное (0,2%) направления [Дьяков и др., 2019].

В 50-70-е годы XX века наблюдалась максималь-ная волновая активность в проливе и её резкий спад

после 1980 г. В 1993-2018 гг. отмечено постепенное увеличение среднегодовых высот волн и повторя-емости сильного волнения. Аналогичное усиление волновой активности в 2002-2018 гг. практиче-ски во все месяцы года отмечено в Керченской бухте, когда были зафиксированы максимальные за весь истори-ческий период наблюдений высоты волн (20 дм). Од-нако, в целом за год в 97% случаев здесь высота волн не превышает 10 дм [Дьяков и др., 2019].

Согласно исследованиям 2002-2011 гг., воды про-лива имели солёность 10,7-18,0‰ [Еремеев и др., 2003; Иванов и др., 2014]. Максимальная солёность поверхности вод наблюдалась в январе и ноябре, когда течение из Азовского моря заметно ослабевает, минимальная – в июне.

Согласно спутниковым снимкам акватории Кер-ченского пролива, а также отдельным синхронным с ними контактным определениям гидрооптических характеристик, воды Азовского и Чёрного морей су-щественно отличаются по оптическим свойствам [Ло-макин, Боровская, 2005; 2006; Ломакин и др., 2006; Чепыженко и др., 2005]. Азовские воды в проливе имеют повышенные содержание взвеси и мутность и, как следствие, зеленовато-бурый цвет и прозрач-ность не более 0,3-0,5 м; а черноморские воды с кон-центрацией взвешенного вещества в 1,5-2,0 раза меньшее – сине-зелёный цвет и прозрачность до 2-3 м [Ломакин и др., 2011].

Цель данной работы – охарактеризовать изменчи-вость гидрометеорологических условий в Керченской бухте в первую четверть XXI века (2007-2024 гг.).

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалами для исследования послужили дан-ные еженедельного мониторинга (один раз в неделю в 09:00) гидрометеорологических условий Керчен-ской бухты в районе центрального причала (рис. 1) в период с апреля 2017 г. по апрель 2024 г.

Наблюдения включали определение температуры воздуха психрометром, скорости и направления при-земного ветра анемометром Skywatch Edle, темпера-туры поверхности воды поверхностным термометром ТМ-10, прозрачности и цветности воды дисков Сек-ки, высоты волны и балльности волнения визуально. Отбирались пробы воды из поверхностного слоя для определения солёности в лаборатории электросоле-мером ГМ-2007.

Для анализа также привлекались среднемесячные значения температуры воздуха и поверхности воды, скорости и направления приземного ветра за 2007-2016 гг. (период, предшествующий натурным наблюде-ниям за гидрометеорологическими условиями Керчен-



**Рис. 1.** Район проведения гидрометеорологического мониторинга – причал в центре г. Керчь  
**Fig. 1.** Area covered by the hydrometeorological monitoring, and its site – a pier in the city center of Kerch

ской бухты) с сайта rp5.ru (ООО «Расписание погоды» г. Санкт-Петербург; ежедневные данные с сервера международного обмена NOAA США), а также среднемесячные значения солнечности за 2007-2013 гг., представленные в [Андреева и др., 2014]. Использованные для сравнения данные многолетних гидрометеорологических наблюдений 1956-2007 гг. взяты из [Ильин и др., 2009].

Методика исследования основана на построении и анализе графиков межгодовой изменчивости среднегодовых и среднемесячных значений гидрометеорологических параметров за 2007-2024 гг.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

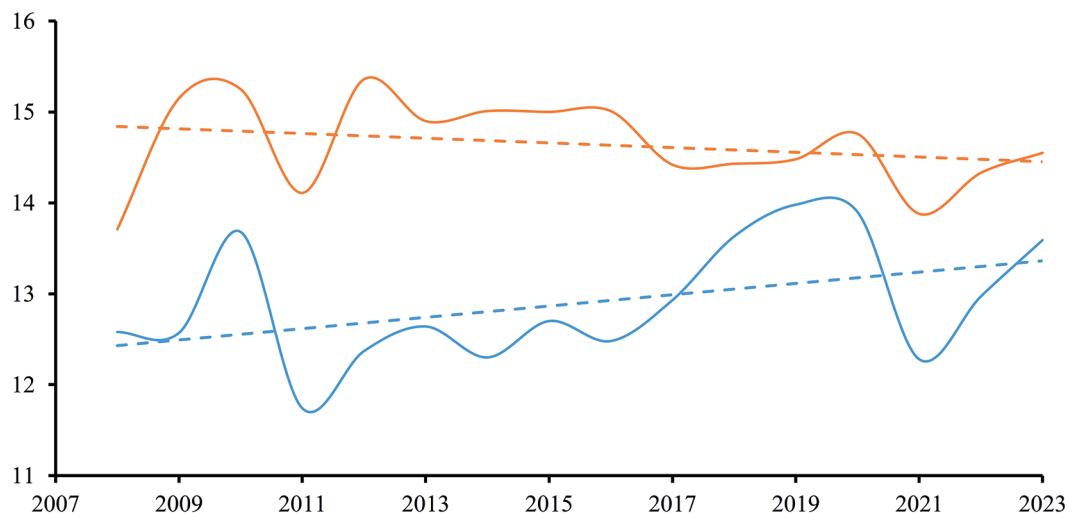
**Температура приземного воздуха** в 2007-2024 гг. имела положительный тренд в изменениях её среднегодовых значений (рис. 2) с межгодовой амплитудой 2,2 °C и внутригодовой амплитудой среднемесячных значений 33,0 °C (-6,2... + 26,8 °C), которая в этот период в связи с мягкими зимами была значительно меньше, чем в предшествующие 50 лет (1956-2007 гг.), когда она достигала 57,0 °C [Дьяков и др.,

2019]. Средняя зимняя температура составила 2,7 °C, тогда как в предшествующий пятидесятилетний период она равнялась 1,2 °C (в 2,3 раза ниже).

Наблюдалась тенденция сокращения числа зимних морозных дней от 27 в среднем для периода 2007-2016 гг. до 15 в 2017-2024 гг. и соответственно повышения минимальных значений температур от -16,4...-5,9 до -9,5...-3,5 °C (табл. 1), т. е. тепловой фон в бухте в зимний сезон стал выше.

В 70-е годы прошлого столетия количество жарких летних дней (с температурой воздуха выше 25 °C) на юге Азовского моря составляло в среднем 16, в начале XX века оно достигало 48 [Ильин и др., 2009], а в 2007-2023 гг. в Керченской бухте – 50, всегда оставаясь более 24 (табл. 1).

Среднемесячная температура воздуха, находилась в диапазоне -6,4...+4,9 °C в 2007-2016 гг. и -3,2...+6,5 °C в 2017-2024 гг. с преобладанием во втором периоде положительных аномалий, т. е. произошло смещение диапазона температуры к положительным значениям.



**Рис. 2.** Среднегодовая температура приземного воздуха (Ta, °C – синяя кривая) и поверхности воды (TPB, °C – коричневая кривая) в 2007-2023 гг.

**Fig. 2.** Average annual temperature of surface air (Ta, °C – blue curve) and water surface (TPB, °C – brown curve) in 2007-2023

**Таблица 1.** Количество жарких летних (Ta > 25 °C) и морозных зимних (декабрь-февраль) дней, минимальная зимняя температура воздуха в 2007-2024 гг.

**Table 1.** Number of hot summer (Ta > 25 °C) and cold sub-zero winter (December-February) days, and the lowest winter air temperature in 2007-2024

	Летние дни с Ta > 25 °C	Морозодни	Ta °C минимальная
2007	40	42	-10,4
2008	24	29	-8,2
2009	24	8	-6,8
2010	46	34	-8,1
2011	28	36	-16,4
2012	40	15	-5,9
2013	31	30	-13,8
2014	39	18	-11,1
2015	32	17	-9,9
2016	47	37	-8,8
2017	37	14	-4,6
2018	50	13	-3,5
2019	28	5	-5,7
2020	33	27	-9,5
2021	30	14	-6,2
2022	28	20	-5,1
2023	29	10	-6,1

**Температура поверхности воды (TPB).** В 2007-2023 гг. наблюдалась довольно однородная межгодовая изменчивость ТПВ с незначительным отрицательным трендом (см. рис. 2). Наиболее тёплыми, когда среднегодовая ТПВ превышала 15,0 (15,04-16,02) °C, были 2009, 2012 и 2013 гг.; наиболее холодными с ТПВ менее 14,0 (13,95-13,99) °C – 2008 и 2017 гг.;

в остальные годы ТПВ находилась в диапазоне 14,02-15,00 °C. В общем, различие среднегодовых значений ТПВ за 2007-2023 гг. не превышало 1,07 °C.

Внутригодовая амплитуда среднемесячных значений ТПВ в 2007-2024 гг. составила 27,8 (0,8-27,0) °C, среднегодовое значение – 14,7 °C, что меньше амплитуды – 30,8 (минус 1,0 – плюс 29,8) °C и выше сред-

негодового значения – 12,3 °C в предшествующие 50 лет [Ильин и др., 2009], в основном за счёт установившихся более тёплых зим.

Отмечалось значительное преобладание положительных аномалий среднемесячной ТПВ (195 случаев из 205), достигавших значений 8,1 °C.

**Солёность поверхностного слоя.** За последние полтора десятилетия среднемесячная солёность Керченской бухты претерпела существенный рост, что согласуется с резким ростом солёности в предпроливном районе Азовского моря и в море в целом в это время [Dashkevich et al, 2016; Кочергин и др., 2018]. Основной причиной современного осолонения является уменьшение стока р. Дон в 2007-2017 гг. до 11-17 км<sup>3</sup>/год на фоне увеличения испарения, связанного с повышением температур [Бердников и др., 2019]. Рост солёности вод в рамках сезонной и межгодовой изменчивости связан также с активизацией меридионального водообмена в море (прежде всего, в поверхностном слое) и ослаблением зонального, что обеспечивало после 2006 г. интенсивное поступления в Азовское море черноморских вод через Керченский пролив [Спирионова, Панов, 2021].

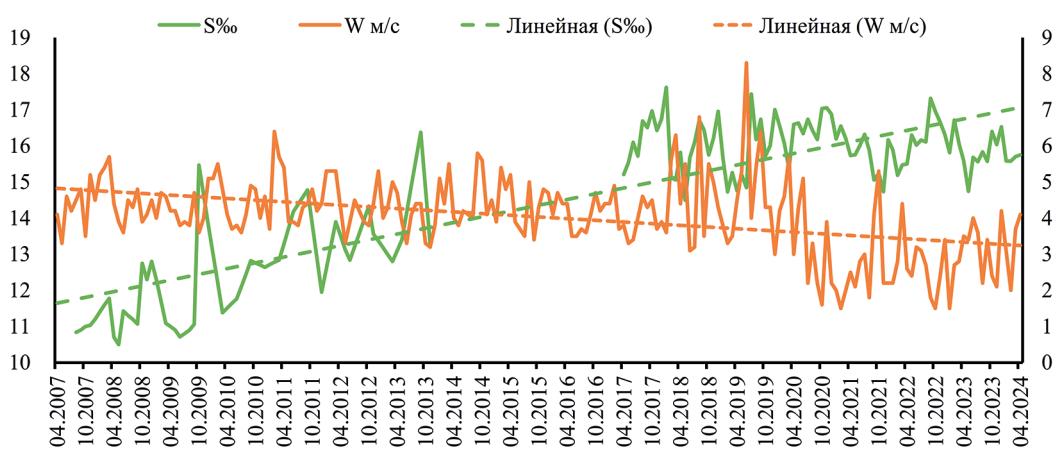
В 2007-2009 гг. среднемесячные значения солёности находились в пределах 10,5-15,5‰ (в среднем 11,7‰), их аномалии изменялись от -2,3 до 2,2‰, а в 2017-2024 гг. солёность увеличилась до 14,5-

17,6‰ (в среднем 16,0‰), все её аномалии стали положительными – 1,4-4,7‰ (рис. 3), что согласуется с данными работы [Кочергин, Боровская, 2020]. Среднегодовая солёность в 2007-2009 гг. составляла 11,0-12,0‰ с диапазоном 1,0‰, в 2017-2024 гг. увеличилась до 15,8-16,5‰ при диапазоне изменчивости лишь 0,8‰ (табл. 2), т. е. после 2017 г. произошло замедление роста и относительная стабилизация солёности в бухте.

Замедление роста и относительная стабилизация солёности в бухте частично связаны с ростом скорости преобладающего ветра северных румбов, усиливавшего течения из Азовского моря в 2018-2019 гг. (см. рис. 3). Такая тенденция изменения солёности, прогнозированная с 2020 г. [Панов и др., 2019], проявилась несколько ранее.

В целом, для всего ряда лет тренд среднемесячной солёности положительный (рис. 3), в первый период – 2007-2013 гг. положительный (рис. 4), во второй – 2017-2024 гг. – практически нулевой (рис. 5).

**Ветровая ситуация** в 2007-2017 гг. характеризовалась относительно однородной изменчивостью среднемесячной скорости ветра в диапазоне 2,1-6,4 (средняя за этот период 4,3 м/с) и средней отрицательной аномалией – 0,48 м/с; в 2018-2019 гг. – ростом до 3,0-8,3 м/с (средняя 4,7 м/с) и незначительной средней отрицательной аномалией –0,22 м/с; в 2020-2024 гг. – резким уменьшени-



**Рис. 3.** Среднемесячные солёность поверхности воды (S, ‰) – левая ось и приземная скорость ветра (W, м/с) – правая ось  
**Fig. 3.** Average monthly water surface salinity (S, ‰) – left axis and average near-ground wind speed (W, m/c) – right axis

**Таблица 2.** Среднегодовая солёность поверхности воды (S, ‰) в 2007-2023 гг.  
**Table 2.** Average annual salinity of the water surface (S, ‰) in 2007-2023

Год	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
S‰	10,99	11,57	12,03	12,25	13,50	13,44	14,06	16,21	16,00	15,80	16,49	15,82	16,16	15,88

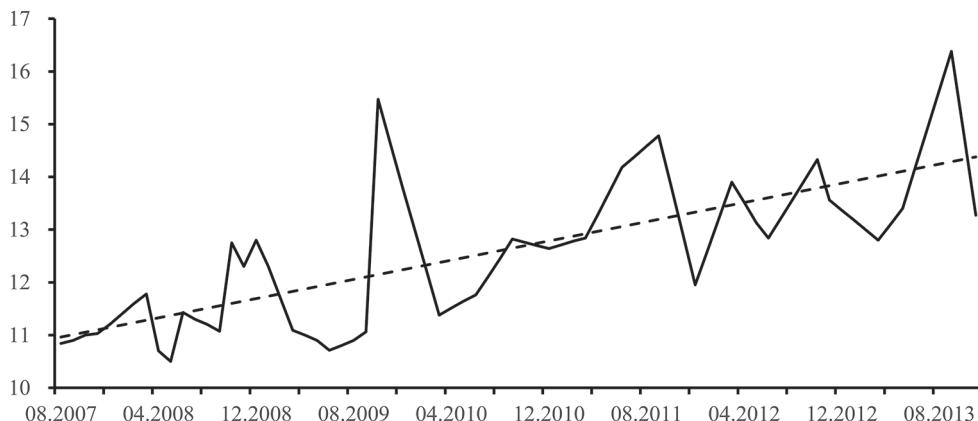


Рис. 4. Среднемесячная солёность поверхности воды ( $S, \text{‰}$ ) в 2007-2014 гг.

Fig. 4. Average monthly salinity of the water surface ( $S, \text{‰}$ ) in 2007-2014

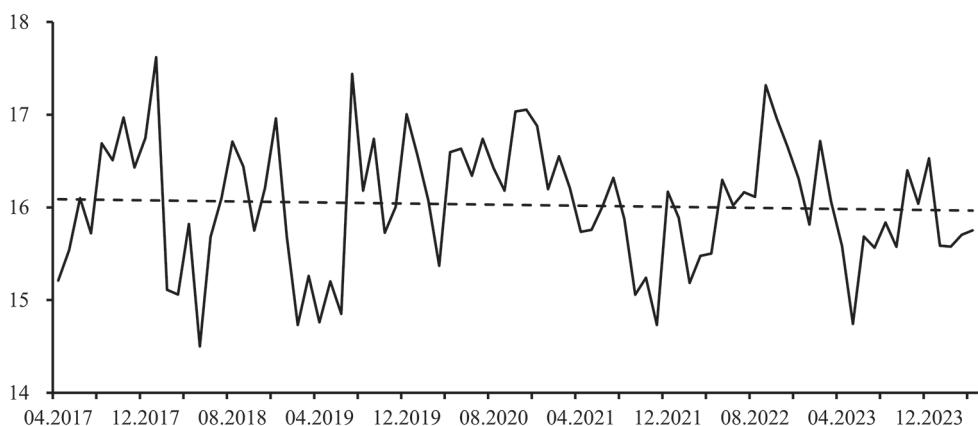


Рис. 5. Среднемесячная солёность поверхности воды ( $S, \text{‰}$ ) в 2017-2024 гг.

Fig. 5. Average monthly salinity of the water surface ( $S, \text{‰}$ ) in 2017-2024

ем до 1,5-5,7 м/с (средняя 3,0 м/с) и значительно большей отрицательной аномалией – 1,82 м/с (см. рис. 3). В целом, тренд скорости преобладающих ветров северных румбов за исследуемый период был отрицательным, особенно после 2019 г., что согласуется с предыдущими исследованиями, указывающими на тенденцию понижения ветровой активности на азовском побережье с середины 1990-х гг. и даже усиление этой тенденции в начале XXI века [Бердников и др., 2019].

**Волнение моря.** В межгодовой изменчивости среднемесячной высоты волн выделялись три периода: 2017-2019 гг. – большая изменчивость (0,05-0,89 м) со средним за этот период значением 0,39 м; 2020-2022 гг. – снижение высоты волн до 0,10-0,60 м (среднее – 0,36 м); 2023-2024 гг. – усиление волнения до 0,20-0,80 м при среднем значении 0,48 м (рис. 6).

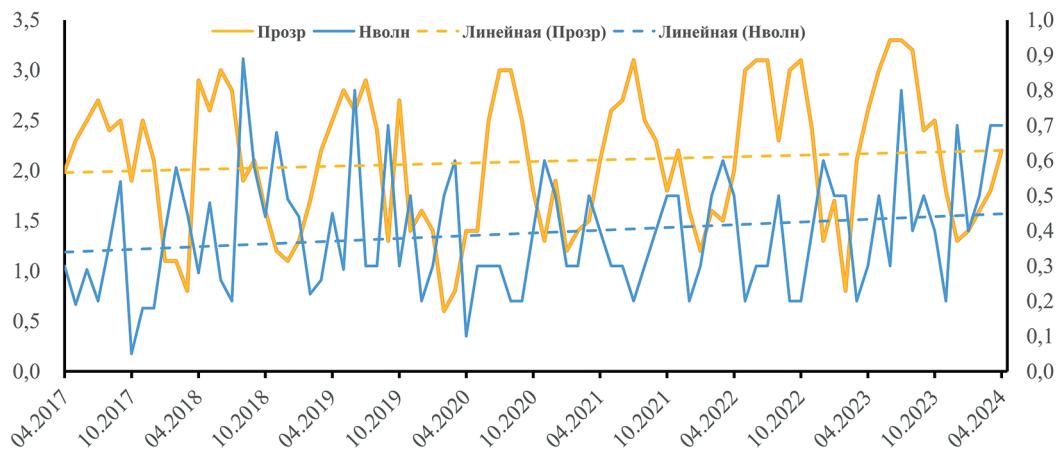
Высота волн, естественно, тесно связана со скоростью ветра (уровень значимости менее 0,01), несмотря на закрытость бухты и влияние зыби.

**Прозрачность воды.** В Керченской бухте, где расположены торговый и рыбный порты, а также подходы к ним, наблюдаются линзы трансформированных вод с загрязняющей антропогенной составляющей, в которых концентрация общего взвешенного вещества (ОВВ) превышает 4-5 мг/л, что больше, чем в предпроливных участках Азовского и Чёрного морей, где содержание ОВВ составляет в основном 0,8-2,4 мг/л [Ломакин и др., 2019]. Это приводит к снижению прозрачности вод бухты.

Наименьшая прозрачность (< 1,0 м) отмечалась в основном в феврале-марте при переменных ветрах со средней скоростью 4,5 м/с; наибольшая (> 3,0 м) с апреля по декабрь, начиная с июля 2021 г., при ветрах северных румбов со средней скоростью 3,9 м/с (табл. 3).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В 2007-2024 гг. наблюдался положительный тренд в изменениях среднегодовой температуры воздуха, преобладание положительных аномалий, увеличение



**Рис. 6.** Среднемесячная высота волн (Н волн, м) – правая ось и прозрачность воды (Прозр, м) – левая ось в 2017-2024 гг.  
**Fig. 6.** Average monthly wave height (Н волн, м) – right axis and water transparency (Прозр, м) – left axis in 2017-2024

**Таблица 3.** Прозрачность воды в определённые месяцы при определённых скоростях (W) и направлениях ветра

**Table 3.** Water transparency for the specific months under the specific wind velocities (W) and directions

Прозрачность, м	Месяцы*	W м/с	Направление ветра
≤1,0	2-3	4,5 (1,5-6,4)	Переменное
1,1-1,5	11-3	4,1 (1,5-6,4)	Северных румбов (10 случаев из 19)
1,6-2,0	10-2	4,0 (1,5-6,4)	Переменное
2,1-2,5	4-12	4,0 (1,5-8,3)	Северных румбов (18 случаев из 26)
2,6-3,00	4-7	4,1 (1,5-6,4)	Северных румбов (10 случаев из 17)
>3,0**	6-8	3,9 (1,8-8,3)	Северных румбов (5 случаев из 7)

Примечание: \* – месяцы с преобладающим количеством случаев, \*\* – наблюдалась с июля 2021 г.

количества жарких летних дней, сокращение числа зимних морозных дней, т. е. тепловой фон в бухте стал выше, особенно зимой, по сравнению с предыдущим 50-летним периодом.

Среднегодовая ТПВ в 2007-2024 гг. имела слабый отрицательный тренд с диапазоном не более 1,07 °С. Внутригодовая амплитуда среднемесячной ТПВ в этот период была меньше, а среднегодовые её значения – выше, чем в предшествующие 50 лет, в основном за счёт установившихся более тёплых зим. Отмечалось значительное преобладание положительных аномалий среднемесячной ТПВ, достигавших 8,1 °С.

В 2017-2024 гг. среднемесячная солёность увеличилась до 14,5-17,6‰, а среднегодовая до 15,7-16,5‰ по сравнению с 2007-2009 гг. (10,5-15,5 и 11,0-12,0‰ соответственно). Наиболее резкий рост происходил до 2014 г. После 2017 г. произошли его замедление и относительная стабилизация солёности в бухте в связи с увеличением скорости преобладавших ветров северных румбов, усиливавших азовские течения. Тренд среднемесячной солёности в 2007-

2013 гг. был положительный, в 2017-2024 гг. – практически нулевой.

В целом, тренд среднемесячной скорости преобладающих ветров северных румбов за исследуемый период был отрицательным с некоторым ростом скорости в 2018-2019 гг. и резким снижением в 2020-2024 гг.

В межгодовой изменчивости среднемесячной высоты волн выделялись три периода: 2017-2019 гг. с наибольшей изменчивостью, 2020-2022 гг. с ослаблением волнения и 2023-2024 гг. с усилением волнения.

Наименьшая прозрачность вод бухты (≤1,0 м) отмечалась в основном в феврале-марте при переменных ветрах повышенной скорости, наибольшая (>3,0 м) – с апреля по декабрь, при ветрах северных румбов пониженной скорости.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

## Финансирование

Работа выполнена в порядке личной инициативы.

## Литература

Авдеева Т.М., Заремба Н.Б., Жугайло С.С., Загайная О.Б., Аджиумеров С.Н. 2014. Экологическое состояние прибрежной акватории Керченской бухты // Труды ЮГНИРО. Т. 52. С. 74-80.

Бердников С.В., Дацкевич Л.В., Кулыгин В.В. 2019. Климатические условия и гидрологический режим Азовского моря в XX – начале XXI вв. // Водные биоресурсы и среда обитания. Т. 2, № 2. С. 7-19.

Дьяков Н.Н., Фомин В.В., Цвецинский А.С., Липченко А.Е., Лукин Д.В., Полозок А.А., Фомина И.Н., Тимошенко Т.Ю., Белогудов А.А., Левицкая О.В. 2019. Современные гидрометеорологические условия формирования ветро-волновых, ледовых и других опасных явлений в Керченском проливе. Севастополь: Изд-во ГОИ им. Н.Н. Зубова. 365 с.

Еремеев В.Н., Иванов В.А., Ильин Ю.П. 2003. Океанографические условия и экологические проблемы Керченского пролива // Морской экологический журнал. Т. 2. № 3. С. 27-40.

Иванов В.А., Матишов Г.Г., Кушнир В.М., Бердников С.В., Чепыженко А.И., Поважный В.В., Степанян О.В. 2014. Керченский пролив в осенний период 2011 года: результаты совместных комплексных исследований, выполненных в экспедиции МГИ НАН Украины и ЮНЦ РАН // Морской гидрофизический журнал. № 1. С. 44-57.

Ильин Ю.П., Фомин В.В., Дьяков Н.Н., Горбач С.Б. 2009. Гидрометеорологические условия морей Украины. Т. 1. Азовское море. Севастополь: Изд-во УНИГМИ МЧС и НАН Украины. ЭКОСИ-Гидрофизика. 402 с.

Кочергин А.Т., Боровская Р.В. 2020. Гидрометеорологические условия Керченской бухты в 2017-2019 гг. // Водные биоресурсы и среда обитания. Т. 3. № 4. С. 25-34. DOI: 10.47921/2619-1024\_2020\_3\_4\_25.

Кочергин А.Т., Жукова С.В., Малыгин Е.Ю. 2018. Межгодовая изменчивость солёности и вертикальной термохалинной устойчивости в различных районах Азовского моря в летний период 1992-2016 гг. // Системы контроля окружающей среды. № 11. С. 63-68. DOI: 10.33075/2220-5861-2018-1-63-68.

Ломакин П.Д., Боровская Р.В. 2005. Возможность контроля системы течений в Керченском проливе на базе спутниковой информации // Системы контроля окружающей среды. № 5. С. 255-257.

Ломакин П.Д., Боровская Р.В. 2006. Характеристика современного состояния системы течений в Керченском проливе на базе спутниковых и контактных наблюдений // Исследования Земли из Космоса. № 6. С. 65-71.

Ломакин П.Д., Панов Б.Н., Спиридонова Е.О. 2010. Особенности межгодовых и сезонных вариаций гидрометеороло-

гических условий в районе Керченского пролива за два последних десятилетия // Морской гидрофизический журнал. № 2. С. 36-48.

Ломакин П.Д., Спиридонова Е.О., Чепыженко А.И., Чепыженко А.А. 2011. Особенности поля взвеси в водах Керченского пролива // Морський екологічний журнал. Т. 10. № 2. С. 49-58.

Ломакин П.Д., Чепыженко А.И., Панов Б.Н., Боровская Р.В. 2006. Гидрологические условия и характеристика загрязнения вод Керченского пролива в мае 2005 года по данным контактных измерений и спутниковых наблюдений // Исследования Земли из Космоса. № 4. С. 27-33.

Ломакин П.Д., Чепыженко А.И., Чепыженко А.А. 2019. Типизация и районирование акватории Керченского пролива по характерным признакам стратификации поля концентрации общего взвешенного вещества // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. № 2. С. 94-102. DOI: 10.22449/2413-5577-2019-2-94-102.

Панов Б.Н., Спиридонова Е.О., Жукова С.В. 2019. Роль атмосферной циркуляции в процессе устойчивых изменений солёности вод Азовского моря // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. № 3. С. 55-61. DOI: 10.23683/0321-3005-2019-3-55-61.

Спиридонова Е.О., Панов Б.Н. 2021. Изменения структурных показателей и среднего значения поля солёности вод Азовского моря // Морской гидрофизический журнал. Т. 37, № 3 (219). С. 305-317. DOI: 10.22449/0233-7584-2021-3-305-317.

Чепыженко А.И., Ломакин П.Д., Боровская Р.В. 2005. Характеристика загрязнения вод Керченской бухты по данным оптических измерений // Современное состояние экосистемы Чёрного и Азовского морей. Тез. докл. межд. конф. Крым, Донузлав. С. 86.

Dashkevich L. V., Berdnikov S. V. 2016. Climatic changes and salinity of the Sea of Azov for 100 years // Proc. of the 16<sup>th</sup> Intern. Multidiscipl. Scient. GeoConf. SGEM 2016 (Albena, 28 June – 6 July, 2016). New York: Curran Associates, Inc. Book 3. V. 2. P. 719-726. DOI: 10.5593/SGEM2016/B32/S15.094.

## REFERENCES

Avdeeva T.M., Zaremba N.B., Zhugaylo S.S., Zagaynaya O.B., Adzhiumerov S.N. 2014. Environmental state of the Kerch Bay coastal waters // Trudy YugNIRO. V. 52. P. 74-80. (In Russ.).

Berdnikov S. V., Dashkevich L. V., Kulygin V. V. 2019. Climatic conditions and hydrological regime of the Sea of Azov in the XX – early XXI centuries // Aquatic Bioresources & Environment. V. 2. № 2. P. 7-19. (In Russ.).

Dyakov N.N., Fomin V.V., Tsvetsinskii A.S., Lipchenko A.E., Lukin D. V., Polozok A. A., Fomina I. N., Timoshenko T. Yu., Belogudov A. A., Levitskaya O. V. 2019. Modern hydrometeorological conditions for the formation of wind-wave, ice and other dangerous phenomena in the Kerch Strait. Sevastopol: N.N. Zubov's SOI Publish. 365 p. (In Russ.).

- Eremeev V.N., Ivanov V.A., Ilyin Yu.P. 2003. Oceanographic conditions and ecological problems in the Kerch Strait // *Marine Ecological Journal*. V. 2. № 3. P. 27-40. (In Russ.).
- Ivanov V.A., Matishov G.G., Kushnir V.M., Berdnikov S.V., Chepyzhenko A.I., Povazhny V.V., Stepanyan O.V. 2014. Kerch Strait in the autumn season of 2011: Results of the joint multi-disciplinary research conducted during the expedition of the MHI of the NASU and the SSC of the RAS // *Marine Hydrophysical Journal*. № 1. P. 44-57. (In Russ.).
- Ilyin Yu.P., Fomin V.V., Dyakov N.N., Gorbach S.B. 2009. Hydrometeorological conditions of the seas of Ukraine. V. 1. The Sea of Azov. Sevastopol: URHMI of the SSEU and NASU. EKOSI-Hydrophysics. 402 p. (In Russ.).
- Kochergin A.T., Borovskaya R.V. 2020. Hydrometeorological conditions of the Kerch Bay in 2017-2019 // *Aquatic Bioresources & Environment*. V. 3, № 4. P. 25-34. DOI: 10.47921/2619-1024\_2020\_3\_4\_25. (In Russ.).
- Kochergin A.T., Zhukova S.V., Malygin E.Yu. 2018. Inter-annual variability of salinity and vertical thermohaline stability in the different areas of the Sea of Azov in summer season of 1992-2016 // *Monitoring Systems of Environment*. № 11. P. 63-68. DOI: 10.33075/2220-5861-2018-1-63-68. (In Russ.).
- Lomakin P.D., Borovskaya R.V. 2005. Possibility of monitoring the system of currents in the Kerch Strait on the basis of satellite information // *Monitoring Systems of Environment*. № 5. P. 255-257. (In Russ.).
- Lomakin P.D., Borovskaya R.V. 2006. Characteristic of modern condition of currents system of Kerch Strait on base of satellite and contact observations // *Earth Observation and Remote Sensing*. № 6. P. 65-71. (In Russ.).
- Lomakin P.D., Panov B.N., Spiridonova E.O. 2010. Specific features of the interannual and seasonal variations of hydrometeorological conditions in the region of Kerch Strait for the last two decades // *Marine Hydrophysical Journal*. № 2. P. 36-48. (In Russ.).
- Lomakin P.D., Spiridonova E.O., Chepyzhenko A.I., Chepyzhenko A.A. 2011. The TSM field distribution particularities in the waters of Kerchenskiy strait // *Marine Ecological Journal*. V. 10, № 2. P. 49-58. (In Russ.).
- Lomakin P.D., Chepyzhenko A.I., Panov B.N., Borovskaya R.V. 2006. Hydrological conditions and characteristics of pollution of Kerch Strait water in May 2005 on base of contact measurements and satellite observations // *Earth Observation and Remote Sensing*. № 4. P. 27-33. (In Russ.).
- Lomakin P.D., Chepyzhenko A.I., Chepyzhenko A.A. 2019. Typification and zoning of the Kerch Strait waters according to specific stratification of total suspended matter concentration // *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*. № 2. P. 94-102. DOI: 10.22449/2413-577-2019-2-94-102. (In Russ.).
- Panov B.N., Spiridonova E.O., Zhukova S.V. 2019. The role of atmospheric circulation in the process of steady changes in the salinity of the Azov Sea waters // *Bulletin of Higher Education Institutes. North Caucasus Region. Natural Sciences*. № 3. P. 55-61. DOI: 10.23683/0321-3005-2019-3-55-61. (In Russ.).
- Spiridonova E.O., Panov B.N. 2021. Changes of the structure indicators and the salinity field average value in the Sea of Azov // *Marine Hydrophysical Journal*. V 37. № 3 (219). P. 305-317. DOI: 10.22449/0233-7584-2021-3-305-317. (In Russ.).
- Chepyzhenko A.I., Lomakin P.D., Borovskaya R.V. 2005. Characterization of the pollution of the Kerch Bay waters based on the data collected over the course of optical measurements // *Current state of the ecosystem of the Black and Azov Seas. Abstr. of the Intern. Conf. Crimea, Donuzlav*. P. 86. (In Russ.).
- Dashkevich L.V., Berdnikov S.V. 2016. Climatic changes and salinity of the Sea of Azov for 100 years // *Proc. of the 16<sup>th</sup> Intern. Multidiscipl. Scient. GeoConf. SGEM 2016 (Albena, 28 June – 6 July, 2016)*. New York: Curran Associates, Inc. Book 3. V. 2. P. 719-726. DOI: 10.5593/SGEM2016/B32/S15.094.

Поступила в редакцию 21.10.2024 г.  
Принята после рецензии 11.02. 2025 г.

УДК 551.468:550.42(268.45)

## Среда обитания водных биологических ресурсов

# Содержание ртути и органического вещества в донных отложениях Баренцева и Карского морей

М.А. Новиков<sup>1</sup>, Ж.В. Васильева<sup>2</sup>, А.А. Яшкина<sup>2</sup>, Е.А. Кирдишова<sup>2</sup>, Е.А. Исакова<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Полярный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н.М. Книповича), ул. Академика Книповича, 6, г. Мурманск, 183038

<sup>2</sup> Мурманский арктический университет (ФГАОУ ВО «МАУ»), ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, 183010

<sup>3</sup> Лаборатория медицинских и биологических технологий ФИЦ КНЦ РАН, г. Апатиты, Мурманская обл., 184209

E-mail: mnovik@pinro.vniro.ru

SPIN-коды: Новиков М.А. – 2063-5426; Васильева Ж.В. – 8234-9552

**Цель работы:** получение новых данных о содержании общей ртути (Hg) и органического вещества (ОВ) в донных осадках (ДО) Баренцева и Карского морей, а также оценка связи этих параметров.

**Материалом исследования** послужили образцы ДО, отобранные в ходе экспедиции НИС «Академик Николай Страхов» (ИО РАН) летом 2019 г. в Баренцевом и Карском морях при выполнении задач изучения состава ДО и оценки антропогенного воздействия на экосистемы.

**Новизна:** в работе приведены новые материалы по исследованию содержания общей Hg и органического вещества в ДО в юго-восточной части Баренцева и юго-западной части Карского морей.

**Используемые методы:** массовую долю общей Hg в пробах грунтов ДО определяли методом беспламенной атомной абсорбции на анализаторе ртути RA-915M (Россия). Определение относительного содержания ОВ в пробах ДО выполняли методом прокаливания до постоянной массы (по ГОСТ 23740-2016). Статистическую обработку данных и построение диаграмм осуществляли в среде MS Excel 2016 и Statistica 13.

**Результаты:** представлены результаты исследования содержания общей Hg и ОВ в ДО Баренцева и Карского морей. В ДО Баренцева моря содержание Hg изменилось от 13,95 до 50,15 мкг/кг при среднем значении 29,5 мкг/кг сухой массы осадка, а в ДО Карского моря – от 17,25 до 52,79 мкг/кг со средним значением 37,5 мкг/кг. Содержание ОВ в ДО обоих морей оказалось примерно одинаковым и составило 2,4-2,6 %. Для Баренцева моря установлена значимая корреляция между содержанием общей Hg и ОВ. Повышенное содержание общей Hg в ДО Карского моря, вероятно, отражает вклад региональной составляющей.

**Практическая значимость:** полученные результаты позволяют лучше понимать процессы, связанные с глобальным загрязнением ртутью морских экосистем.

**Ключевые слова:** Баренцево море, Карское море, донные отложения, ртуть, органическое вещество.

## Mercury and organic matter content in bottom sediments of the Barents and Kara Seas

Mikhail A. Novikov<sup>1</sup>, Zhanna V. Vasileva<sup>2</sup>, Anna A. Yashkina<sup>2</sup>, Elena A. Kirdishova<sup>2</sup>, Ekaterina A. Isakova<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Polar branch of VNIRO (N.M. Knipovich «PINRO»), 6, Academician Knipovich St., Murmansk, 183038, Russia

<sup>2</sup> Murmansk Arctic University («MAU»), 13, Sportivnaya St., Murmansk, 183010 Russia

<sup>3</sup> Laboratory of Medical and Biological Technologies KSC RAS, Apatity, Murmansk region, 184029 Russia

**This study aims** to obtain new data on the content of total mercury (Hg) and organic matter (OM) in bottom sediments (BS) of the Barents and Kara Seas, as well as an assessment of the relationship of these parameters.

**The material for this study:** The research material was samples of BS selected during the expedition of the scientific research vessel Akademik Nikolay Strakhov from June 25 to July 28, 2019 in the Barents and Kara Seas when performing the tasks of studying BS and assessing the anthropogenic impact on ecosystems.

**Novelty:** The paper presents new original materials on the study of the content of total Hg and OM in BS of the Barents and Kara Seas, as well as an assessment of the relationship of these parameters for marine soils of these Arctic waters.

**Methods used:** the total mercury content in the samples was estimated by the method of flame-free atomic absorption on the mercury analyzer RA-915M (Russia). The determination of the relative content of organic matter was performed in accordance with Russian standard (GOST 23740-2016) by the gravimetric calcination method to a constant mass (“Loss on Ignition”). Statistical data processing and charting were carried out in the MS Excel 2016 environment and the Statistica 13.

**Results:** The results of a study of the content of total Hg and OM in the BS of the Barents and the Kara Seas are presented. In the BS of the Barents Sea, the Hg content varied from 13.95 to 50,15 µg/kg with an average value of 29.5 µg/kg of dry sediment, and in the BS of the Kara Sea – from 17.25 to 52.79 µg/kg with an average value of 37.5 µg/kg. The OM in the BS of both seas turned out to be approximately the same and amounted 2.4-2.6 %. For the Barents Sea, a correlation has been established between the content of Hg and OM. The increased total Hg content in the BS of the Kara Sea probably reflects the contribution of the regional component.

**Practical relevance:** The results obtained will make it possible to better understand the processes associated with global mercury pollution of ecosystems in the Arctic.

**Keywords:** Barents Sea, Kara Sea, bottom sediments, mercury, organic matter.

## ВВЕДЕНИЕ

Активное изучение поведения поллютантов в арктическом регионе началось в 1991 г. с момента образования Программы арктического мониторинга и оценки (AMAP) странами, граничащими с Северным Ледовитым океаном (СЛО). Целью Программы стала эффективная оценка экологических рисков для экосистемы и населения. Особое значение в этом проекте уделено тяжёлым металлам [AMAP, 2005]. Повышенное внимание распространению и распределению загрязняющих веществ в Арктике было вызвано возможностью поступления токсичных соединений в населённые прибрежные районы и их влияния на водные биологические ресурсы и рыболовство [Rodrigues et al., 2019; Siegel et al., 2001; Bank et al., 2021]. Одним из приоритетных загрязнителей окружающей среды, обладающих высокой токсичностью, признана ртуть (Hg) [AMAP, 2011; Fedorov et al., 2019]. В августе 2017 г. вступила в силу Минаматская конвенция ООН по ртути<sup>1</sup> – международное соглашение о сокращении выбросов ртути в целях защиты окружающей среды и здоровья человека.

Проблема аккумуляции Hg в экосистеме Арктики стоит наиболее остро, поскольку в её глобальной миграции особую роль играет дальний атмосферный перенос, приводящий к тому, что Hg накапливается в высоких широтах [Golubeva et al., 2003; AMAP, 2005; Sommar et al., 2010; AMAP, 2011; Beldowski et al., 2015]. Атмосферный перенос Hg часто связан с аэрозолями, поступающими в результате извержения исландских вулканов [Захарченко и др., 2020; Beldowski et al., 2015]. Ртуть выбрасывается в атмосферу в основном в газообразном элементарном виде. Атмосферное осаждение ртути в бассейне Баренцева моря оценивается в 4 т/год [Голубева и др., 2005], а в районе Карского моря – 2,6 т/год [Coquagu et al., 1995].

Другими источниками поступления ртути в арктические моря являются терригенный сток, океанический транспорт из Западной Европы с водами Континентального склонового и Норвежского течений, таяние ледников на архипелагах и перенос дрейфующими льдами [Ожигин и др., 2016; Новиков, 2021; 2022; Pavlov, Pfirman, 1995; Hansen et al., 1998].

Ртуть представляет собой аккумулируемое нейротоксичное вещество, способное передаваться по пищевым цепям и оказывать значительное воздействие на человека в результате употребления в пищу море-

продуктов и морских млекопитающих [Ji et al., 2019; Bank et al., 2021].

Содержание Hg в ДО относительно незагрязнённых водоёмах Арктического бассейна обычно не превышает 0,03-0,06 мг/кг сухой массы [Fedorov et al., 2018; Aksentov et al., 2021]. О среднем содержании общей Hg в ДО арктических морей РФ также известно, что в Баренцевом море оно составляет 0,058 мг/кг [Новиков, 2017], а в Карском – 0,02 мг/кг [Loring et al., 1998].

В ДО ртуть попадает в составе твёрдых неорганических и органических частиц, поступивших из природных и антропогенных источников в виде оседающей взвеси или в растворённом виде. В водной среде растворённая Hg легко адсорбируется взвесью, сестоном и осаждается на дно. ОВ может связывать до 95% соединений Hg<sup>2+</sup> [Boszke et al., 2003; Beldowski et al., 2015].

Известно, что основными источниками ОВ в Баренцевом и Карском морях является продукция фитопланктона, ледовых водорослей и фитобентоса. На поверхности дна и в верхнем слое ДО минерализуется около 93% фотосинтезированного в море органического углерода (Сорг), оседающего на дно [Boszke et al., 2003; Ветров, Романкевич, 2011]. В то время как в наилок и верхний слой ДО сверху из водной толщи поступает взвешенное ОВ преимущественно биогенного происхождения, обеспечивающее деятельность гетеротрофов, снизу из осадков просачиваются восстановленные соединения, необходимые для деятельности автотрофных микроорганизмов [Леин и др., 2013]. К ним добавляется влияние геологических и техногенных источников. Таким образом, связь содержания общей Hg с ОВ может свидетельствовать в пользу отдельных источников её поступления, природных и техногенных.

Целью данного исследования было получение новых данных о содержании общей ртути и органического вещества в ДО Баренцева и Карского морей, а также оценка связи этих параметров.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалом для исследований послужили образцы ДО, отобранные в ходе экспедиции НИС «Академик Николай Страхов» (ИО РАН) в июне-июле 2019 г. на акватории Баренцева и Карского морей при выполнении задач изучения ДО, а также для оценки природных рисков изменений морского дна, включая бентос, и антропогенной нагрузки на экосистемы Баренцева и Карского морей.

Отбор проб ДО осуществляли с помощью дночерпателя Ван Вина. Взятие проб для последующего

<sup>1</sup> UNEP 2013. Minamata Convention on Mercury. United Nations Environment Programme. 2013. Nairobi, Kenya. 67 p. URL: The Minamata Convention on Mercury | UNEP – UN Environment Programme

анализа выполняли путём отбора верхнего (0-2 см) слоя осадков. Далее пробы упаковывали в маркированные пластиковые зип-пакеты. На борту судна образцы подвергали глубокой заморозке и хранили в термоконтейнерах при температуре минус 20 °С. По окончании экспедиции замороженные пробы ДО были доставлены в стационарную лабораторию для выполнения химических анализов. Для удобства анализа результатов исследований нумерация станций приведена в отсортированном виде в направлении увеличения долготы при выполнении съёмки с запада на восток (рис. 1). Таким образом, в Баренцевом море располагались станции №№ 1-19, а Карском море – №№ 20-40. Отобранные ДО преимущественно были представлены алевритом, алеврито-пелитовыми, пелитовыми илами с примесью алеврито-песчаного и песчано-гравийного материала.

которые анализировались на содержание ртути и общего ОВ.

Массовую долю общей Hg в пробах грунтов ДО определяли методом беспламенной атомной абсорбции на анализаторе ртути РА-915М (ООО «Люмэкс-Маркетинг», Россия). Навески пробы ДО помещали в дозатор и взвешивали на электронных весах АВ204 (фирмы «Mettler-Toledo AG», Швейцария). Далее каждую взвешенную пробу вводили в атомизатор для перехода ртути в атомарное состояние, после чего атомный пар с помощью побудителя расхода воздуха поступал в атомно-абсорбционный анализатор. Атомизация содержащейся в пробах ртути происходила в двухсекционном пиролизаторе приставки РП-91С. Пробы анализировали в соответствии с методикой ПНД Ф 16.1:2.23-2000.<sup>2</sup> Массовую долю Hg определяли по величине аналитического сигнала с учётом

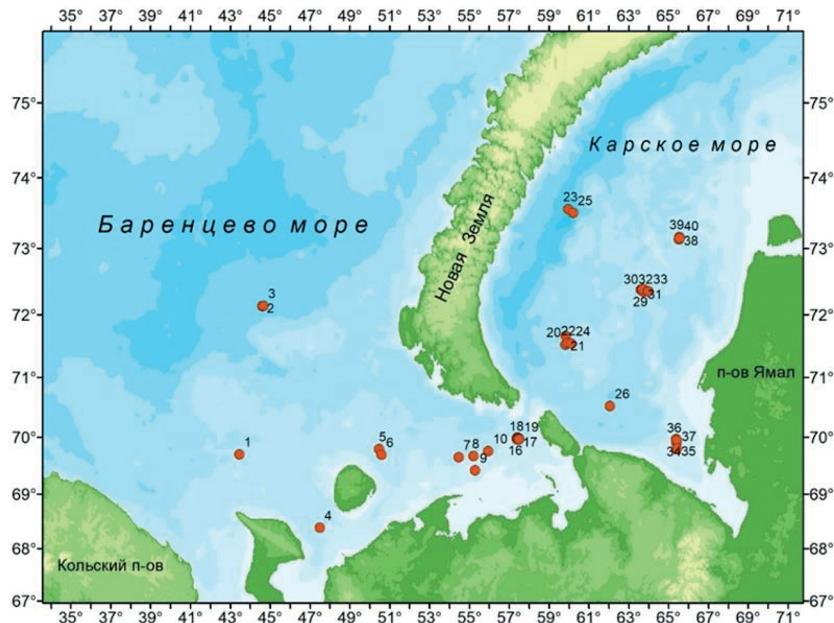


Рис. 1. Карта станций отбора проб донных отложений в Баренцевом и Карском морях

Fig. 1. The map of sediment sampling stations in the Barents and Kara Seas

Анализы проводили в научно-исследовательской лаборатории кафедры «Техносферная безопасность» Мурманского государственного технического университета и испытательной лаборатории ФГБУ «ЦЛАТИ по СЗФО» – «ЦЛАТИ по Мурманской области» (номер записи об аккредитации в реестре аккредитованных лиц Росаккредитации – RA.RU.511453).

Для проведения анализов все пробы были предварительно разморожены и доведены до воздушно-сухого состояния при комнатной температуре (не выше 20 °С). Пробы тщательно усредняли и перетирали в фарфоровой ступке до однородного состояния. Далее проба делилась на отдельные навески,

предварительно установленного градуировочного коэффициента. Аналитический сигнал обрабатывался с помощью программного обеспечения для РА-915М – программы «RAPID» и заранее установленной градуировочной характеристики. Опыт согласно методике ПНД Ф 16.1:2.23-2000 проводили в двухкратной повторности, в случае расхождения данных – в трёхкратной. Для градуировки применяли твёрдые стандартные образцы ГСО 2507-83, ГСО 2508-83, ГСО 2509-83.

<sup>2</sup> ПНД Ф 16.1:2.23-2000. Методика выполнения измерений массовой доли общей ртути в пробах почв и грунтов на анализаторе ртути «РА-915+» с приставкой «РП-91С». 2005. Санкт-Петербург: Изд-во НПФ «Люмэкс». 16 с.

Для контроля стабильности градуировочной характеристики применяли твёрдые образцы ГСО 2498-83 (стандартный образец состава дерново-подзолистой супесчаной почвы) с близким к образцам низким содержанием ртути. Контроль точности проводился методом добавки в нулевую пробу: стандартный образец раствора ионов ртути ГСО 8004-93 вводился в навеску пробы, избавленную от присутствия ртути после пиролиза и снова подвергался анализу в целях испытания образца со схожей матрицей.

Определение относительного содержания общего ОВ в пробах ДО выполняли согласно ГОСТ 23740-2016<sup>3</sup> гравиметрическим методом прокаливания до постоянной массы. Для определения ОВ навески проб для удаления хлоридов отмывали дистиллированной водой, подкисленной серной кислотой до исчезновения реакции на хлор с использованием раствора азотнокислого серебра. Карбонаты в пробах не были обнаружены: отсутствовало выделение газа при обработке проб. Затем навески высушивали в сушильном шкафу при 105 °C до постоянной массы в течение не менее 12 ч. Далее, согласно применяемой методике (ГОСТ 23740-2016), производили просеивание пробы на сите с ячейкой 0,25 мм. Затем навески прокаливали в муфельной печи LOIP-LF-7/11(«ЛОИП», Россия) при температуре 350±10 °C до постоянной массы по схеме анализа А: «для голоценовых аквальных грунтов...» (п. 5.2.4). После охлаждения и взвешивания прокалённых проб оценивали изменение массы зольного остатка. Прокаливание заканчивали тогда, когда разность в массе при двух последовательных взвешиваниях составляла менее 0,005 г. При практическом отсутствии карбонатов потери при прокаливании соответствовали содержанию относительно легко разлагаемого ОВ в исследованных пробах ДО, которое в основном присутствует в их верхнем слое [Леин и др., 2013]. Данный подход соответствует методике определения т. н. LOI (англ. «Loss on Ignition» – потери при прокаливании) [Stevenson et al., 2020]. Обработку проб проводили в трёх повторностях. Относительное содержание ОВ проб, в процентах, вычисляли согласно ГОСТ 23740-2016.

Статистическую обработку данных проводили с использованием программного пакета Statistica 13, а также с помощью прикладного пакета MS Excel 2016.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты исследований представлены в таблице. Среднее содержание ртути в ДО в юго-восточной

<sup>3</sup> ГОСТ 23740-2016. Грунты. Методы определения содержания органических веществ: Москва. Стандартинформ, 2017. Москва: Стандартинформ. 10 с.

**Таблица.** Измеренные показатели донных отложений Баренцева (ст. 1-19) и Карского морей (ст. 20-40)

**Table.** Measured indicators of bottom sediments of the Barents Sea (stations 1-19) and the Kara Sea (stations 20-40)

Станции отбора проб	Содержание ртути, мкг/кг	Органическое вещество, %	Глубина, м
1	17,55	0,72	102
2	30,73	4,77	320
3	50,15	3,37	305
4	46,14	2,67	52
5	13,95	0,72	76
6	18,10	2,27	80
7	23,67	1,39	52
8	41,13	3,21	44
9	14,86	0,74	32
10	19,56	0,73	48
11	30,21	2,65	73
12	33,26	2,81	68
13	24,62	2,90	58
14	25,26	3,71	68
15	43,28	4,51	67
16	34,63	1,78	75
17	26,37	2,76	67
18	32,94	2,25	68
19	34,82	4,81	73
20	38,40	2,14	92
21	47,68	3,26	85
22	51,66	1,92	90
23	46,46	5,76	409
24	43,87	2,13	75
25	48,08	2,30	284
26	52,79	5,09	224
27	17,25	1,35	63
28	29,54	2,96	179
29	44,77	1,07	74
30	25,46	2,12	81
31	37,97	1,43	97
32	30,78	2,51	92
33	32,15	3,24	88
34	51,41	2,20	38
35	37,70	1,23	37
36	21,88	2,05	38
37	34,43	1,36	37
38	27,56	1,89	120
39	29,13	2,11	105
40	37,46	2,14	104

части Баренцева моря составило  $29,5 \pm 10,6$  (здесь и далее  $\pm$  стандартное отклонение) мкг/кг, а в ДО юго-западной части Карского моря –  $37,5 \pm 10,3$  мкг/кг (рис. 2). Распределение величин содержания общей Hg в обоих случаях и в объединённой по морям выборке соответствует нормальному по критериям Шапиро-Уилка и Колмогорова-Смирнова.

Согласно Т-критерию Стьюдента ( $p=0,022$ ), содерж-

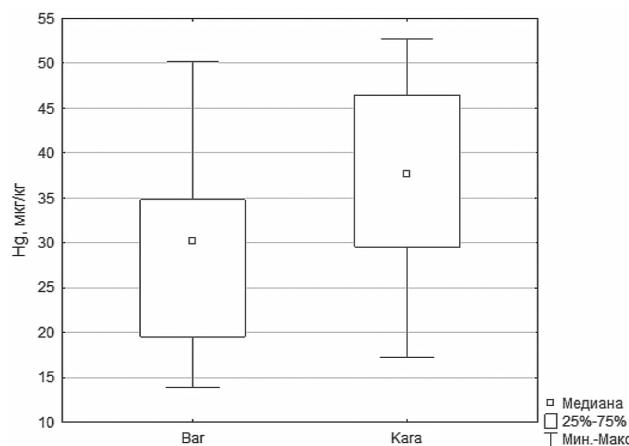


Рис. 2. Сравнение содержание ртути в ДО Баренцева (Bar) и Карского (Kara) морей, мкг/кг

Fig. 2. Comparison of mercury content in bottom sediments of the Barents (Bar) and Kara (Kara) seas,  $\mu\text{g}/\text{kg}$

жение Hg в ДО Карского моря достоверно отличается от такового в ДО Баренцева. В то же время, в ходе статистического анализа данных достоверный тренд увеличения содержания общей Hg в исследованных ДО с возрастанием долготы (с запада на восток) не выявлен.

Среднее содержание ОВ в осадках Баренцева моря составило  $2,57 \pm 1,33\%$ . Содержание ОВ в ДО Карского моря немного отличалось от такового в Баренцевом и было равным  $2,39 \pm 1,18\%$  соответственно. Распределение содержания ОВ в ДО Баренцева моря соответствовало нормальному закону по критериям Шапиро-Уилка и Колмогорова-Смирнова. Напротив, содержание ОВ в ДО Карского моря заметно отличалось от нормального по критерию Шапиро-Уилка ( $p=0,001$ ). Отмеченные выше отличия в содержании ОВ в ДО морей были статистически недостоверны по критерию Манна-Уитни ( $p=0,432$ ).

На рис. 3 представлены карты-схемы распределения содержания ОВ в ДО Карского и Баренцева морей. Несмотря на отмеченное отличие от нормального распределения ОВ в Карском море, на карте-схеме практически не удается выявить отдельные участки повышенного содержания ОВ. Напротив, для содержания ОВ характерна локальная мозаичность, когда

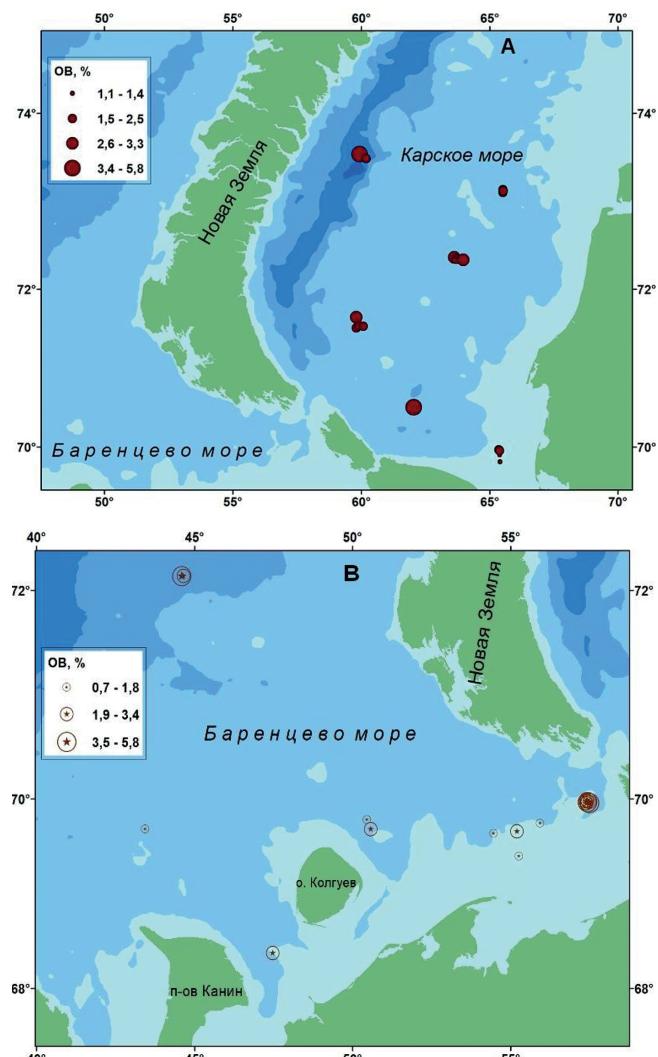


Рис. 3. Содержание ОВ в ДО Карского моря (А) и Баренцева морей (Б)

Fig. 3. The content of organic matter (LOI) in the bottom sediments of the Kara (A) and Barents (B) seas

станции с высоким его содержанием сгруппированы со станциями, где содержание ОВ в ДО было относительно низкое.

Анализ связи содержания Hg в ДО Баренцева и Карского морей (объединённая выборка) с уровнем содержания ОВ выявил низкий уровень корреляции с коэффициентами  $R_p=0,44$  (по Пирсону) и  $R_s=0,41$  (по Спирмену). Однако для ДО отдельно Баренцева моря уровень корреляции был значительно выше, с коэффициентами  $R_p=0,64$  и  $R_s=0,67$  (при  $p<0,05$ ). Для ДО Карского моря указанные коэффициенты корреляции были соответственно заметно ниже ( $R_p=0,36$ ;  $R_s=0,34$  при  $p>0,05$ ), чем для Баренцева (рис. 4).

Дисперсия данных по содержанию ОВ в ДО исследованных морей характеризуется относительно

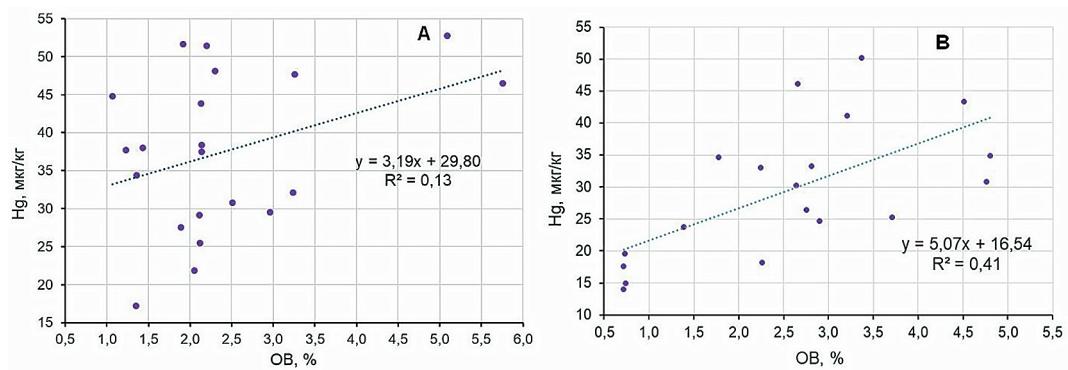


Рис. 4. Связь содержания ртути с содержанием ОВ в ДО Карского (А) и Баренцева (В) морей

Fig. 4. The relationship of mercury content with the content of organic matter (LOI) in bottom sediments of the Kara (A) and Barents (B) seas

высокими значениями. Коэффициенты вариации (СИ) в случае Баренцева и Карского морей составляют 51,9 и 49,1% соответственно.

В дополнение к сказанному можно отметить высокий уровень корреляции ОВ с глубиной в Карском море,  $R_p=0,76$ . В Баренцевом море корреляционная связь содержания ОВ с глубиной слабая:  $R_p=0,40$ . Средняя глубина на исследованных станциях составляла для Баренцева моря 91 м, для Карского – 115 м.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Полученное в исследовании среднее содержание ртути в ДО юго-восточной части Баренцева моря (Печорское море) оказалось намного ниже такового, известного ранее этой акватории – 90 мкг/кг [Новиков и др., 2019], но медианы содержания Hg – 30 мкг/кг в сравниваемых случаях совпадают. С учётом того, что распределение вышеприведённых опубликованных данных «ПИНРО» им. Н.М. Книповича по Печорскому морю не соответствовало нормальному, на основании медианных значений можно говорить о значительном сходстве полученных результатов по содержанию Hg в ДО юго-восточной части Баренцева моря. В целом, для Печорского моря характерно наличие участков высокого содержания Hg в ДО: среднее значение квартилей концентрации по этому морю – 1,89 при медиане – 0,6 [Новиков, 2017; Новиков и др., 2019]. Считается, что в случае Hg имеют место очевидные признаки техногенного загрязнения ДО Баренцева моря [Гуревич, 2002]. В юго-восточной части моря это может быть связано с деятельностью нефтедобывающего комплекса, а также влияния стока р. Печора.

Среднее содержание Hg в ДО Карского моря 37,5 мкг/кг оказалось ближе к среднему её содержанию в ДО всей акватории Баренцева моря, составляющему по ранее полученным нами данным 58 мкг/кг [Новиков, 2017]. В работе В.И. Гуревича [2002] для ДО

Западно-Арктического шельфа, включающего Баренцево и Карское моря, приводится среднее значение содержания ртути 38 мкг/кг, почти совпадающее с полученными нами данными по Карскому морю.

Дно Карского моря в районе исследований имеет сложный рассечённый рельеф [Добровольский, Залогин, 1982], который, вероятно, и обуславливает упомянутую выше заметную связь накопления ОВ с глубиной. Несмотря на олиготрофный характер Карского моря [Кравчишина и др., 2015; Суханова и др., 2010] и большие поступления терригенного ОВ, поставляемого сибирскими реками, доля ОВ морского генезиса в современных ДО оказывается сопоставимой с долей ОВ, поступившего с суши [Ветров, Романкевич, 2011; Лейн и др., 2013].

Согласно M. Bensharada с соавт. [Bensharada et al., 2022], содержание ОВ (LOI<sub>550</sub>) в мелком илистом песке (silty fine-sand) отложений Доггербанки в Северном море у берегов Восточной Англии составило 4,11%. Измерения, выполненные теми же авторами на том же материале, но с использованием более распространённого и точного метода термогравиметрического анализа (TGA) дали результат 4,0%. Этот результат соответствует полученным в настоящей работе данным, согласно которым содержание ОВ в исследованных акваториях находилось в диапазоне от 0,72 до 5,76%.

Если исходить из известного соотношения, предложенного W. Deen [Deen, 1964], согласно которому содержание Сорг составляет примерно половину от LOI, то содержание Сорг в ДО Баренцева и Карского морей по нашим данным составит около 1,28 и 1,19%, соответственно. Согласно известным данным, среднее содержание Сорг в ДО Баренцева моря – 1,28-1,39% [Горшкова, 1975; Новиков, Драганов, 2021]. По другим данным, для юго-восточной части Баренцева моря (Печорское море) характерны значения Сорг 1,02%

[Pathirana et al., 2014]. В научной литературе встречаются и другие, более низкие значения содержания Сорг в ДО акватории Печорского моря 0,49-0,62 % [Романкевич, Ветров, 2021]. В любом случае мы имеем значения одного порядка. Следует также учесть фактор мозаичного распределения ДО различного состава по исследуемой акватории, иными словами – известную вариабельность измеряемых показателей. В таблице на ряде станций отмечены достаточно низкие значения ОВ, а значит и Сорг. Среднее вычисленное нами содержание Сорг в ДО Карского моря также достаточно близко к ранее опубликованным аналогичным данным для этого моря – 0,83 % [Беляев и др., 2009]. Согласно другим известным данным, среднее содержание Сорг в поверхностном слое ДО (алевропелит) западной части Карского моря в 2019 г. составляло 0,75 % [Немировская, Флинт, 2022]. По данным этих же авторов, содержание Сорг в алевропелите участка геохимического барьера Обская губа-взморье (Карское море) в 2016-2018 гг. в среднем составляло 1,07-1,14 %.

В Баренцевом море поток оседающего на дно ОВ терригенного происхождения, в целом, заметно меньше, чем в Карском, при этом он более равномерно распределён по акватории [Ветров, Романкевич, 2011]. Незначительная разница значений содержания ОВ в ДО юго-восточной части Баренцева и юго-западной части Карского морей свидетельствует в пользу связи генезиса ОВ донных осадков на сравниваемых акваториях. В основе, вероятно, лежит ОВ терригенного происхождения, попадающего в море за счёт стока р. Печоры и рек Оби и Енисея, соответственно. Кроме того, существует активный водообмен между юго-восточной частью Баренцева моря (Печорским морем) и юго-западной частью Карского через пролив Карские ворота, при этом поток баренцевоморских вод в Карское море может быть достаточно высок [Кузнецов, 1983; Экосистема Карского..., 2008; Benzik et al., 2021].

Преобладание мелкодисперсных фракций (мелкий алеврит, пелит) в ДО юго-восточной части Карского моря [Гуревич, 2002] не оказало заметного влияния на общее содержание ОВ. В связи с этим можно отметить, что И.А. Немировской и М.В. Флинтом [2022] на примере ДО из Карского моря показано, что в противоположность существующим представлениям содержание Сорг, а значит в известной степени и ОВ (потери при прокаливании) в них не зависит от гранулометрического состава ДО. Вероятно, это прямое следствие биотурбирования осадков и активности микробиологических процессов в верхнем слое осадков [Stevenson et al., 2020]. Тем не менее, здесь, вероятно, прослеживается

влияние осаждения в исследованной части Карского моря взвеси (детрита) преимущественно терригенного происхождения, поступающей с южного о-ва Новой Земли, и мелкодисперсной речной взвеси, проходящей через маргинальные фильтры Оби и Енисея, причём, не только с водой, но и со льдом. Взвесь может приноситься стоковым Обь-Енисейским и Ямальским течениями. Этот фактор, по всей видимости, и обусловил увеличение содержания Hg в ДО Карского моря на 27 % по сравнению с юго-восточной частью Баренцева моря.

Отмеченная выше положительная связь содержания ОВ с глубиной в Карском море позволяет говорить о существовании придонных латеральных, вдольсклоновых потоков осадочного вещества и о его осаждении (накоплении) в седиментационных ловушках [Ветров, Романкевич, 2011].

На основе результатов корреляционного анализа пары ОВ-Hg можно отметить, что в Печорском море ртуть, в основном, связана с содержанием ОВ. Такое распределение можно считать вполне закономерным. Баренцево море – высоко продуктивный водоём, здесь значительно больше видовое разнообразие и биомасса планктона, чем в Карском, последняя значительно убывает в направлении с запада на восток [Агатова, 2017; Добровольский, Залогин, 1982]. В олиготрофном Карском море повышенное содержание Hg в ДО, скорее, связано с потоками местного загрязнения, например, с Павловского полиметаллического месторождения, расположенного на юге архипелага Новая Земля [Черкасова и др., 2021]. Однако, следует отметить, что полученных данных пока недостаточно для развития выдвинутых предположений. Авторы планируют проведение дальнейших исследований в данном направлении.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненных исследований показано, что различия в среднем содержании ОВ в ДО юго-восточной части Баренцева моря и юго-западной Карского моря незначительны. Полученные уровни содержания общего органического вещества (в среднем 2,4-2,6 %) в целом характерны для ДО морей российского сектора Арктики.

Среднее содержание Hg в ДО юго-западной части Карского моря существенно, на 27 %, выше, чем в юго-восточной части Баренцева моря. Это позволяет делать вывод о том, что источники поступления ртути в указанные районы Баренцева и Карского морей не одинаковы. Повышенное содержание ртути в ДО Карского моря, вероятно, в заметной степени связано с выносом загрязнения водами рек Обь и Енисей,

а также поступлением этого металла с поверхности южного острова архипелага Новая Земля.

Все выдвинутые выше предположения нуждаются в проверке, которая будет выполнена в ходе дальнейших исследований авторов на новом материале донных осадков, собранных в изучаемом регионе в 2021-2022 гг.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

## Финансирование

Работа не имела дополнительного спонсорского финансирования.

## ЛИТЕРАТУРА

- Агатова А.И. 2017. Органическое вещество в морях России. М.: Изд-во ВНИРО. 260 с.
- Беляев Н.А., Поняев М.С., Пересыпкин В.И. 2009. Органический углерод верхнего слоя донных осадков западной части Карского моря // Геология морей и океанов: Мат. XVIII Межд. науч. конф. (Школы) по морской геологии. М.: ГЕОС. Т. I. С. 17-20.
- Ветров А.А., Романкевич Е.А. 2011. Генезис органического вещества донных осадков Карского моря // Океанология. Т. 51. № 4. С. 649-657.
- Ветров А.А., Романкевич Е.А. 2001. Потоки органического углерода в арктических морях России // Опыт системных океанологических исследований в Арктике. М.: Научный Мир. С. 227-234.
- Голубева Н.И., Матищов Г.Г., Бурцева Л.В. 2005. Выпадения тяжёлых металлов из атмосферы с осадками в регионе Баренцева моря // ДАН. Т. 401. № 5. С. 683-686.
- Горшкова Т.И. 1975. Органическое вещество современных шельфовых осадков северных морей СССР // Проблемы геологии шельфа. М.: Наука, С. 66-72.
- Гуревич В.И. 2002. Современный седиментогенез и геоэкология Западно-Арктического шельфа Евразии. М.: Научный мир. 135 с.
- Добровольский А.Д., Залогин Б.С. 1982. Моря СССР. М.: Изд-во МГУ. 146 с.
- Захарченко А.В., Тигеев А.А., Пасько О.А., Колесниченко Л.Г., Московченко Д.В. 2020. Региональный и локальный геохимические переносы веществ, депонированные в снеговом покрове // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. № 6. С. 41-53. DOI: 10.31857/S0869780920060119
- Кравчишина М.Д., Леин А.Ю., Суханова И.Н., Артемьев В.А., Новигатский А.Н. 2015. Генезис и пространственное распределение концентрации взвеси в Карском море в период наибольшего сокращения Арктической ледовой шапки // Океанология. Т. 55. № 4. С. 687-708. DOI: 10.7868/S0030157415030089
- Кузнецов И.М. 1983. О ледообмене через пролив Карские ворота // Труды ААНИИ. Т. 380, Гидрология Северного Ледовитого океана. Л.: Гидрометеоиздат. С. 123-128.
- Леин А.Ю., Маккавеев П.Н., Саввичев А.С., Кравчишина М.Д., Беляев Н.А., Дара О.М., Поняев М.С., Захарова Е.Е., Розанов А.Г., Иванов М.В., Флинт М.В. 2013. Процессы трансформации взвеси в осадок в Карском море // Океанология. Т. 53. № 5. С. 643-679. DOI: 10.7868/S0030157413050080
- Немировская И.А., Флинт М.В. 2022. Особенности поведения органических соединений в воде и донных осадках в Карском море во время схода сезонного льда // Океанология. Т. 62. № 1. С. 64-74. DOI: 10.31857/S0030157422010117
- Новиков М.А. 2017. К вопросу о фоновых значениях уровней содержания тяжелых металлов в донных отложениях Баренцева моря // Вестник МГТУ. Т. 20. № 1/2. С. 280-288. DOI: 10.21443/1560-9278-2017-20-1/2-280-288
- Новиков М.А. 2021. Стойкие органические загрязнители в донных отложениях Баренцева моря // Водные ресурсы. Т. 48. № 3. С. 334-343. DOI: 10.31857/S032105962103010X
- Новиков М.А., Титов О.В., Жилин А.Ю. 2019. Содержание металлов в донных отложениях центральной части Печорского моря в современный период // Вестник МГТУ. Т. 22. № 1. С. 188-198. DOI: 10.21443/1560-9278-2019-22-1-188-198
- Новиков М.А., Драганов Д.М. 2021. Атлас загрязнения донных отложений Баренцева моря. Мурманск: ПИНРО им. Н.М. Книповича. 183 с.
- Ожигин В.К., Ившин В.А., Трофимов А.Г., Карсаков А.Л., Анциферов М.Ю. 2016. Воды Баренцева моря: структура, циркуляция, изменчивость. Мурманск: ПИНРО. 260 с.
- Романкевич Е.А., Ветров А.А. 2021. Углерод в Мировом океане. М.: ГЕОС, 352 с. DOI: 10.34756/GEOS.2021.16.37857
- Суханова И.Н., Флинт М.В., Мошаров С.А., Сергеева В.М. 2010. Структура сообществ фитопланктона и первичная продукция в обском эстуарии и на прилежащем Карском шельфе // Океанология. Т. 50. № 5. С. 785-800.
- Черкасова Е.В., Мироненко М.В., Сидкина Е.С. 2021. Кинетико-термодинамическое моделирование кислотного ёдренажа объединённой технологической пробы с месторождения Павловское (архипелаг Новая Земля, о. Южный). Предварительная оценка // Геохимия. Т. 66. № 2. С. 183-190. DOI: 10.31857/S0016752521020035
- Экосистема Карского моря 2008 / Б.Ф. Прищепа ред. Мурманск: Изд-во ПИНРО. 261 с.
- Aksentov K. I., Astakhov A. S., Ivanov M. V., Alatortsev A. V., Sattarova V. V., Mariash A. A., Shi X., Hu L., Melgunov M. S. 2021. Assessment of mercury levels in modern sediments of the East Siberian Sea // Marine Pollution Bulletin. Vol. 168. (112426). DOI: 10.1016/j.marpolbul.2021.112426

- AMAP Assessment 2002: Heavy Metals in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). 2005. Oslo, Norway. 265 p. DOI: 10.13140/RG.2.1.2437.4160
- AMAP Assessment 2011: Mercury in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). 2011. Oslo, Norway. 193 p.
- Ball D.F. 1964. Loss-on-ignition as an estimate of organic matter and organic carbon in non-calcareous soils // *J. Soil Sci.* V. 15. P. 84-92.
- Bank M.S., Frantzen S., Duinker A., Amouroux D., Tessier E., Nedreaas K., Maage A., Nilsen B. M. 2021. Rapid Temporal Decline of Mercury in Greenland Halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) // *Environmental Pollution*. V. 289. Is. 117843. DOI: 10.1016/j.envpol.2021.117843
- Beldowski J., Miotk M., Zaborska A., Pempkowiak J. 2015. Distribution of sedimentary mercury off Svalbard, European Arctic // *Chemosphere*. V. 122. P. 190-198. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2014.11.050
- Bensharada M., Telford R., Stern B., Gaffney V. 2022. Loss on ignition vs. thermogravimetric analysis: a comparative study to determine organic matter and carbonate content in sediments // *J. Paleolimnol.* V. 67. P. 191-197. DOI: 10.1007/s10933-021-00209-6
- Benzik A.N., Orlov A.M., Novikov M.A. 2021. Marine seabed litter in Siberian Arctic: a first attempt to assess // *Marine Pollution Bulletin*. V. 172. Is. 112836. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2021.112836
- Boszke L., Kowalski A., Glosifiska G., Szarek R., Siepak J. 2003. Environmental factors affecting speciation of mercury in the bottom sediments; an overview // *Polish Journal of Environmental Studies*. V. 12. No. 1. P. 5-13.
- Coquery M., Cossa D., Martin J.M. 1995. The distribution of dissolved and particulate mercury in three Siberian estuaries and adjacent Arctic coastal waters // *Water, Air, and Soil Pollution*. V. 80, P. 653-664. DOI: 10.1007/BF01189718
- Dean W.E. 1974. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: comparison with other methods // *J. Sed. Petrol.* V. 44. P. 242-248.
- Fedorov Y.A., Ovsepyan A.E., Zimovets A.A., Savitskiy V.A., Dotsenko I.V., Lisitsyn A.P., Shevchenko V.P., Novigatsky A.N. 2019. Mercury Distribution in Bottom Sediments of the White Sea and the Rivers of Its Basin // *Sedimentation Processes in the White Sea*. / A.P. Lisitsyn, L.L. Demina ed. P. 208-241. DOI: 10.1007/978-3-030-05111-2
- Golubeva N., Burtseva L., Matishov G. 2003. Measurements of mercury in the near-surface layer of the atmosphere of the Russian Arctic // *Science of the total environment*. V. 306. No. 1/3. P. 3-9. DOI: 10.1016/S0048-9697(02)00480-1
- Hansen B., Osterhus S., Gould W.J., Rickards L.J. 1998. North Atlantic-Norwegian Sea Exchanges: the ICES NANSEN Project // *North Atlantic-Norwegian Sea Exchanges: the ICES NANSEN Project*. ICES Cooperative Res. Rep. № 225. P. 3-82.
- Ji X., Abakumov E., Xie X. 2019. Atmosphere-ocean exchange of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in the Russian Arctic Ocean // *Atmospheric Chemistry and Physics*. V. 19. No. 22. P. 13789-13807. DOI: 10.5194/acp-19-13789-2019
- Loring D.H., Dahle S., Naes K., Santos D., Skei J.M., Matishov G.G. 1998. Arsenic and other trace metals in sediments from the Kara Sea and the Ob and Yenisey estuaries, Russia // *Aquatic Geochemistry*. V. 4. P. 233-252. DOI: 10.1023/A:1009691314353
- Pathirana I., Knies J., Felix M., Mann U. 2014. Towards an improved organic carbon budget for the western Barents Sea shelf // *Climate of the Past*. V. 10. P. 569-587. DOI: 10.5194/cp-10-569-2014
- Pavlov V.K., Pfirman S.L. 1995. Hydrographic structure and variability of the Kara Sea: Implications for pollutant distribution // *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. V. 42. No. 6. P. 1369-1390, DOI: 10.1016/0967-0645(95)00046-1
- Rodrigues P.A., Ferrari R.G., Santos L.N., Junior A.C. 2019. Mercury in aquatic fauna contamination: A systematic review on its dynamics and potential health risks // *Journal of Environmental Sciences (Beijing, China)*. V. 84. P. 205-218. DOI: 10.1016/j.jes.2019.02.018.
- Ryaboshapko A., Bullock R., Ebinghaus R., Ilyin I., Lohman K., Munthe J., Petersen G., Seigneur Ch., Wängberg I. 2002. Comparison of mercury chemistry models // *Atmospheric Environment*. V. 36. Is. 24. P. 3881-3898. DOI: 10.1016/S1352-2310(02)00351-5
- Siegel F.R., Kravitz J.H., Galasso J.J. 2001. Arsenic and mercury contamination in 31 cores taken in 1965, St. Anna Trough, Kara Sea, Arctic Ocean // *Environmental Geology*. V. 40, P. 528-542. DOI: 10.1007/s002540000194
- Sommar J., Andersson M.E., Jacobi H.-W. 2010. Circumpolar measurements of speciated mercury, ozone and carbon monoxide in the boundary layer of the Arctic Ocean // *Atmospheric Chemistry and Physics*. V. 10:5031-5045. DOI: 10.5194/acp-10-5031-2010
- Stevenson M.A., Faust J.C., Andrade L.L., Freitas F.S., Gray N.D., Tait K., Hendry K.R., Hilton R.G., Henley S.F., Tessin A., Leary P., Papadaki S., Ford A., März C., Abbott G.D. 2020. Transformation of organic matter in a Barents Sea sediment profile: coupled geochemical and microbiological processes // *Phil. Trans. R. Soc. A* 378: 20200223. DOI: 10.1098/rsta.2020.0223

## REFERENCES

- Agatova A.I. 2017. *Organic matter in the seas of Russia*. Moscow: VNIRO Publish. 260 p. (In Russ.).
- Belyaev N.A. M. Ponyatov S., Peresypkin V.I. 2009. Organic carbon of the upper layer of bottom sediments of the western part of the Kara Sea // *Geology of the seas and oceans: proceedings of the XVIII International Scientific Conference (school) on marine Geology*. Moscow: GEOS. V. I. P. 17-20. (In Russ.).
- Vetrov A.A., Romankevich E.A. 2011. The genesis of the organic matter of the bottom sediments of the Kara Sea // *Oceanology*. V.51. No. 4. P. 649-657. (In Russ.).
- Trudy VNIRO. 2025. V. 199. P. 166-176

- Vetrov A.A., Romankevich E.A. 2001. Organic carbon fluxes in the Arctic seas of Russia // Experience of systemic oceanological research in the Arctic. Moscow: Nauchny Mir. P. 227-234. (In Russ.).
- Golubeva N.I., Matishov G.G., Burtseva L.V. 2005. Precipitation of heavy metals from the atmosphere with precipitation in the Barents Sea region // DAS. V. 401. No. 5. P. 683-686. (In Russ.).
- Gorshkova T.I. 1975. Organic matter of modern shelf sediments of the northern seas of the USSR // Problems of shelf geology. Moscow: Nauka, P. 66-72. (In Russ.).
- Gurevich V.I. 2002. Modern sedimentogenesis and geoecology of the Western Arctic shelf of Eurasia. Moscow: Scientific world. 135 p. (In Russ.).
- Dobrovolsky A.D., Zalogin B.S. 1982. Seas of the USSR. Moscow: Moscow SU Publish. 146 p. (In Russ.).
- Zakharchenko A.V., Tigeev A.A., Pasko O.A., Kolesnichenko L.G., Moskovchenko D.V. 2020. Regional and local geochemical transfers of substances deposited in snow cover // Geoecology. Engineering geology, hydrogeology, geocryology. No. 6. P. 41-53. DOI: 10.31857/S0869780920060119. (In Russ.).
- Kravchishina M.D., Lein A.Yu., Sukhanova I.N., Artem'ev V.A., Novigatsky A.N. 2015. Genesis and spatial distribution of suspended particulate matter concentrations in the Kara Sea during maximum reduction of the Arctic ice sheet // Oceanology. V. 55. No 4. P. 623-643. DOI: 10.1134/S000143701503008X
- Kuznetsov I.M. 1983. On ice exchange through the Kara Gate Strait // Proceedings of the AANIA. V. 380. Hydrology of the Arctic Ocean. Leningrad: Hydrometeoizdat. P. 123-128. (In Russ.).
- Lein A.Yu., Makkaveev P.N., Savichev A.S., Kravchishina M.D., Belyaev N.A., Dara O.M., Ponyaev M.S., Zakharova E.E., Rozanov A.G., Ivanov M.V., Flint M.V. 2013. The processes of transformation of suspension into sediment in the Kara Sea // Oceanology. V 53. No. 5. P. 643-679. DOI: 10.7868/S0030157413050080, (In Russ.).
- Nemirovskaya I.A., Flint M.V. 2022. Features of the behavior of organic compounds in water and bottom sediments in the Kara Sea during the descent of seasonal ice // Oceanology. V. 62. No. 1. P. 64-74. DOI: 10.31857/S0030157422010117. (In Russ.).
- Novikov M.A. 2017. On the issue of background values of heavy metal levels in the bottom sediments of the Barents Sea // Bulletin of the Moscow STU. V. 20. No. 1/2. P. 280-288. DOI: 10.21443/1560-9278-2017-20-1/2-280-288. (In Russ.).
- Novikov M.A. 2021. Persistent organic pollutants in bottom sediments of the Barents Sea // Water resources. V. 48. No. 3. P. 334-343. DOI: 10.31857/S032105962103010X. (In Russ.).
- Novikov M.A., Titov O.V., Zhilin A.Yu. 2019. Metal content in bottom sediments of the central part of the Pechora Sea in the modern period // Bulletin of the MSTU. V. 22. No. 1. P. 188-198. DOI: 10.21443/1560-9278-2019-22-1-188-198. (In Russ.).
- Novikov M.A., Draganov D.M. 2021. Atlas of pollution of bottom sediments of the Barents Sea. Murmansk: N.M. Knipovich PINRO Publish. 183 p. (In Russ.).
- Ozhigin V.K., Ivshin V.A., Trofimov A.G., Karsakov A.L., Antsiferov M. Yu. 2016. The waters of the Barents Sea: structure, circulation, variability. Murmansk: PINRO Publish. 260 p. (In Russ.).
- Romankevich E.A., Vetrov A.A. 2021. Carbon in the oceans. Moscow: GEOS press. 352 p. DOI: 10.34756/GEOS.2021.16.37857. (In Russ.).
- Sukhanova I.N., Flint M.V., Mosharov S.A., Sergeeva V.M. 2010. Structure of the phytoplankton communities and primary production in the Ob River estuary and over the adjacent Kara Sea shelf // Oceanology. V. 50. No. 5. P.743-758. DOI: 10.1134/S0001437010050115
- Cherkasova E.V., Mironenko M.V., Sidkina E.S. 2021. Kinetic and thermodynamic modeling of acid drainage of a combined technological sample from the Pavlovskoye field (Novaya Zemlya Archipelago, Yuzhny Island). preliminary assessment // Geochemistry. V. 66. No. 2. P. 183-190, DOI: 10.31857/S0016752521020035. (In Russ.).
- Ecosystem of the Kara Sea 2008. / B.F. Prishchepa ed. Murmansk: PINRO Publish. 261 p. (In Russ.).
- Aksentov K.I., Astakhov A.S., Ivanov M.V., Alatortsev A.V., Sattarova V.V., Mariash A.A., Shi X., Hu L., Melgunov M.S. 2021. Assessment of mercury levels in modern sediments of the East Siberian Sea // Marine Pollution Bulletin. Vol. 168. (112426). DOI: 10.1016/j.marpolbul.2021.112426
- AMAP Assessment 2002: Heavy Metals in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). 2005. Oslo, Norway. 265 p. DOI: 10.13140/RG.2.1.2437.4160
- AMAP Assessment 2011: Mercury in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). 2011. Oslo, Norway. 193 p.
- Ball D.F. 1964. Loss-on-ignition as an estimate of organic matter and organic carbon in non-calcareous soils // J. Soil Sci. V. 15. P. 84-92.
- Bank M.S., Frantzen S., Duinker A., Amouroux D., Tessier E., Nedreaas K., Maage A., Nilsen B. M. 2021. Rapid Temporal Decline of Mercury in Greenland Halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) // Environmental Pollution. V. 289. Is. 117843. DOI: 10.1016/j.envpol.2021.117843
- Beldowski J., Miotk M., Zaborska A., Pempkowiak J. 2015. Distribution of sedimentary mercury off Svalbard, European Arctic // Chemosphere. V. 122. P. 190-198. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2014.11.050
- Bensharada M., Telford R., Stern B., Gaffney V. 2022. Loss on ignition vs. thermogravimetric analysis: a comparative study to determine organic matter and carbonate content in sediments // J. Paleolimnol. V. 67. P. 191-197. DOI: 10.1007/s10933-021-00209-6
- Benzik A.N., Orlov A.M., Novikov M.A. 2021. Marine seabed litter in Siberian Arctic: a first attempt to assess // Marine Pollution Bulletin. V. 172. Is. 112836. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2021.112836

- Boszke L., Kowalski A., Glosifiska G. Szarek R., Siepak J. 2003. Environmental factors affecting speciation of mercury in the bottom sediments; an overview // Polish Journal of Environmental Studies. V. 12. No. 1. P. 5-13.
- Coquery M., Cossa D., Martin J.M. 1995. The distribution of dissolved and particulate mercury in three Siberian estuaries and adjacent Arctic coastal waters // Water, Air, and Soil Pollution. V. 80, P. 653-664. DOI: 10.1007/BF01189718
- Dean W.E. 1974. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: comparison with other methods // J. Sed. Petrol. V. 44. P. 242-248.
- Fedorov Y.A., Ovsepian A.E., Zimovets A.A., Savitskiy V.A., Dotsenko I.V., Lisitsyn A.P., Shevchenko V.P., Novigatsky A.N. 2019. Mercury Distribution in Bottom Sediments of the White Sea and the Rivers of Its Basin // Sedimentation Processes in the White Sea. / A.P. Lisitsyn, L.L. Demina ed. P. 208-241. DOI: 10.1007/978-3-030-05111-2
- Golubeva N., Burtseva L., Matishov G. 2003. Measurements of mercury in the near-surface layer of the atmosphere of the Russian Arctic // Science of the total environment. V. 306. No. 1/3. P. 3-9. DOI: 10.1016/S0048-9697(02)00480-1
- Hansen B., Osterhus S., Gould W.J., Rickards L.J. 1998. North Atlantic-Norwegian Sea Exchanges: the ICES NANSEN Project // North Atlantic-Norwegian Sea Exchanges: the ICES NANSEN Project. ICES Cooperative Res. Rep. № 225. P. 3-82.
- Ji X., Abakumov E., Xie X. 2019. Atmosphere-ocean exchange of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in the Russian Arctic Ocean // Atmospheric Chemistry and Physics. V. 19. No. 22. P. 13789-13807. DOI: 10.5194/acp-19-13789-2019
- Loring D.H., Dahle S., Naes K., Santos D., Skei J.M., Matishov G.G. 1998. Arsenic and other trace metals in sediments from the Kara Sea and the Ob and Yenisey estuaries, Russia // Aquatic Geochemistry. V. 4. P. 233-252. DOI: 10.1023/A:1009691314353
- Pathirana I., Knies J., Felix M., Mann U. 2014. Towards an improved organic carbon budget for the western Barents Sea shelf // Climate of the Past. V. 10. P. 569-587. DOI: 10.5194/cp-10-569-2014
- Pavlov V.K., Pfirman S.L. 1995. Hydrographic structure and variability of the Kara Sea: Implications for pollutant distribution // Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. V. 42. No. 6. P. 1369-1390, DOI: 10.1016/0967-0645(95)00046-1
- Rodrigues P.A., Ferrari R.G., Santos L.N., Junior A.C. 2019. Mercury in aquatic fauna contamination: A systematic review on its dynamics and potential health risks // Journal of Environmental Sciences (Beijing, China). V. 84. P. 205-218. DOI: 10.1016/j.jes.2019.02.018.
- Ryaboshapko A., Bullock R., Ebinghaus R., Ilyin I., Lohman K., Munthe J., Petersen G., Seigneur Ch., Wängberg I. 2002. Comparison of mercury chemistry models // Atmospheric Environment. V. 36. Is. 24. P. 3881-3898. DOI: 10.1016/S1352-2310(02)00351-5
- Siegel F.R., Kravitz J.H., Galasso J.J. 2001. Arsenic and mercury contamination in 31 cores taken in 1965, St. Anna Trough, Kara Sea, Arctic Ocean // Environmental Geology. V. 40, P. 528-542. DOI: 10.1007/s002540000194
- Sommar J., Andersson M.E., Jacobi H.-W. 2010. Circumpolar measurements of speciated mercury, ozone and carbon monoxide in the boundary layer of the Arctic Ocean // Atmospheric Chemistry and Physics. V. 10:5031-5045. DOI: 10.5194/acp-10-5031-2010
- Stevenson M.A., Faust J.C., Andrade L.L., Freitas F.S., Gray N.D., Tait K., Hendry K.R., Hilton R.G., Henley S.F., Tessin A., Leary P., Papadaki S., Ford A., März C., Abbott G.D. 2020. Transformation of organic matter in a Barents Sea sediment profile: coupled geochemical and microbiological processes // Phil. Trans. R. Soc. A 378: 20200223. DOI: 10.1098/rsta.2020.0223

Поступила в редакцию 11.09.2024 г.

Принята после рецензии 02.10.2024 г.

УДК 639.2.081

## Рыболовство

# Исследование гидродинамических характеристик траповой доски

А.А. Недоступ, А.О. Ражев, П.В. Насенков, А.В. Пивоваров

Калининградский государственный технический университет (ФГБОУ ВО «КГТУ»), Советский пр-т, д.1, г. Калининград, 236022

E-mail: nedostup@kltu.ru

SPIN-код: А.А. Недоступ – 7035-5279, А.О. Ражев – 4535-5888, П.В. Насенков – 7434-6253

**Целью работы** является доказательство возможности применения программного обеспечения (ПО) для расчёта гидродинамических характеристик траповых досок. **Используемые методы:** компьютерное и физическое моделирование гидродинамических характеристик траповых досок даёт возможность более точной их настройки для качественного промысла. Поиск оптимальных настроек траповых досок возможен при помощи компьютерной программы «Гидродинамика траповых досок», которая разработана на основании множества исследований динамических характеристик. К таким характеристикам относятся: скорость течения, глубина, угол атаки, угол крена и дифферента, максимальное значение коэффициента распорной силы  $c_y$ , минимальное значение коэффициента сопротивления траповой доски  $c_x$ , максимальное значение гидродинамического качества  $k$ . **Новизна:** по результатам физических и математических экспериментов был проведён анализ и разработана методика, позволяющая рассчитывать настройку траповых досок на судне, не прибегая к физическим экспериментам на воде. **Результат:** разработанная методика может позволить специалистам по технике добычи правильно настроить угол атаки траповой доски на судне для правильного горизонтального раскрытия траула, не прибегая к испытаниям на воде. **Практическая значимость:** на основании разработанной методики расчёта специалисты по технике добычи могут настраивать угол атаки траповых досок для достижения высокой эффективности промысла сразу на судне, избегая необходимости проводить эксперименты на воде. Используя специализированное программное обеспечение, они могут моделировать различные параметры, такие как угол наклона и размеры траповой доски, а также условия окружающей среды. Это позволит точно прогнозировать положение доски и оптимизировать её настройки, что в конечном итоге способствует повышению улова, а также минимизирует время на промысле.

**Ключевые слова:** траповые доски, компьютерная программа, динамические, гидродинамические характеристики, моделирование, 3D-модель.

## Study of the hydrodynamic characteristics of the trawl board

Alexander A. Nedostup, Aleksey O. Razhev, Pavel V. Nasenkov, Alexander V. Pivovarov

Kaliningrad State Technical University («KSTU»), 1, Sovetsky Prospekt, Kaliningrad, 236022, Russia

**The aim of the work** is to prove the possibility of using software for calculating the hydrodynamic characteristics of trawl doors. **The methods used:** computer and physical modeling of the hydrodynamic characteristics of trawl doors makes it possible to set the correct angle of attack of the trawl for more successful catch. The search for optimal settings of trawl doors is possible using the computer program "Hydrodynamics of trawl doors", which was developed on the basis of many studies of dynamic characteristics. Such characteristics include: current speed, depth, angle of attack, angle of heel and trim, maximum value of the spreading force coefficient  $c_y$ , minimum value of the trawl door resistance coefficient  $c_x$ , maximum value of the hydrodynamic quality  $k$ . **Novelty:** based on the results of physical and mathematical experiments, an analysis was carried out and a technique was developed that allows calculating the setting of trawl doors on a vessel without resorting to physical experiments on the water. **Result:** the developed methodology can allow harvesting technicians to correctly adjust the angle of attack of the trawl door on the vessel for the correct horizontal opening of the trawl, without resorting to testing on the water. **Practical significance:** based on the developed calculation methodology, mining technology specialists can adjust the angle of attack of trawl doors to achieve high fishing efficiency directly on the vessel, avoiding the need to conduct experiments on the water. Using specialized software, they can simulate various parameters such as the angle of inclination and dimensions of the trawl door, as well as environmental conditions. This will allow them to accurately predict the behavior of the board and optimize its settings, which ultimately contributes to an increase in catch and minimizes costs and work.

**Keywords:** trawl doors, computer program, dynamic, hydrodynamic characteristics, modeling, 3D-model.

## ВВЕДЕНИЕ

Для эффективного использования траловой доски в рыболовстве необходимо определить её гидродинамические характеристики. Это требует глубокого понимания взаимодействия доски с водной средой. Ключевым моментом является определение силы лобового сопротивления, распорной и заглубляющей сил, действующих на траловую доску, а также гидродинамических коэффициентов. Эти параметры необходимо рассчитать для различных скоростей движения и углах атаки, крена и дифферента траловой доски. При проектировании траловых досок возникает проблема выбора оптимальной её формы. Единой универсальной формы, подходящей для всех случаев, не существует. С точки зрения гидродинамики [Федяевский и др., 1968] различным скоростям движения и условиям промысла соответствует своя наилучшая форма доски. Для донного промысла требуются траловые доски одной формы, для разноглубинного – другой [Фридман, 1981]. Эксперименты с натурными траловыми досками и их физическими моделями в морских условиях, а также различных бассейнах и гидролотках дают ценные данные. Однако такие испытания приводят к значительным затратам времени и финансов. В связи с этим, возрастаёт роль компьютерного моделирования гидродинамики траловых досок [Недоступ, Ражев, 2017 б]. Компьютерное моделирование позволяет рассчитать гидродинамические поля вокруг доски, не прибегая к экспериментам на натурных траловых досках, что экономит время и средства.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Использование компьютерных программ для расчёта гидродинамических характеристик траловой доски позволяет определить её угол атаки, обеспечивающий оптимальное горизонтальное раскрытие трала. Величина горизонтального раскрытия трала является основным фактором для эффективного рыболовства [Коротков, 1972]. Компьютерное моделирование позволяет исследовать гидродинамику траловой доски при различных условиях лова (скорости течения, глубине лова, углах атаки, крена и дифферента) и предоставляет более точную информацию по сравнению с традиционными методами. Исследование гидродинамики в виртуальной среде сокращает затраты на эксперименты в натурных условиях [Мизюркин, 2012].

Специалисты по технике добычи на судне могут использовать полученные данные компьютерного моделирования для определения ориентации траловой доски и величины раскрытия трала в зависимости от настроек траловой доски перед началом промысла.

Это позволяет избежать неправильного расположения доски и увеличивает эффективность промысла, сокращая время на добычу рыбы. Компьютерное моделирование является примером инновационного подхода в рыбной отрасли, который позволяет увеличить эффективность рыболовства. Использование современных технологий позволяет специалистам по технике добычи быстрее принимать решения в постановке трала, что приводит к увеличению доходов.

На основе существующей модели крыловидной траловой доски (см. рис. 1) был разработан чертёж (см. рис. 2), на основе которого была создана цифровая модель траловой доски в программе отечественного производства «Компас 3D» (см. рис. 3).



Рис. 1. Крыловидная траловая доска

Fig. 1. Wing-shaped trawl board

Созданная по чертежу 3D-модель крыловидной траловой доски была загружена в программу «Гидродинамика траловых досок». Программа позволяет проводить исследования гидродинамических характеристик траловой доски. Программное обеспечение позволяет моделировать гидродинамику движущейся в водной среде траловой доски, рассчитать поля давления и скоростей, силы сопротивления при различной ориентации к потоку.

Такие исследования являются неотъемлемой частью проектирования и разработки траловых до-

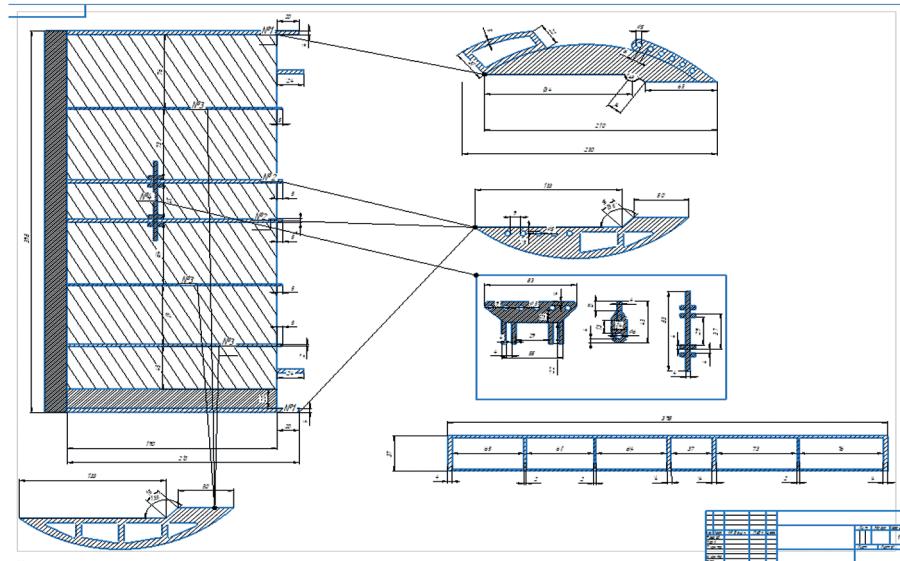


Рис. 2. Чертёж крыловидной траповой доски  
Fig. 2. Drawing of a wing-shaped trawl door

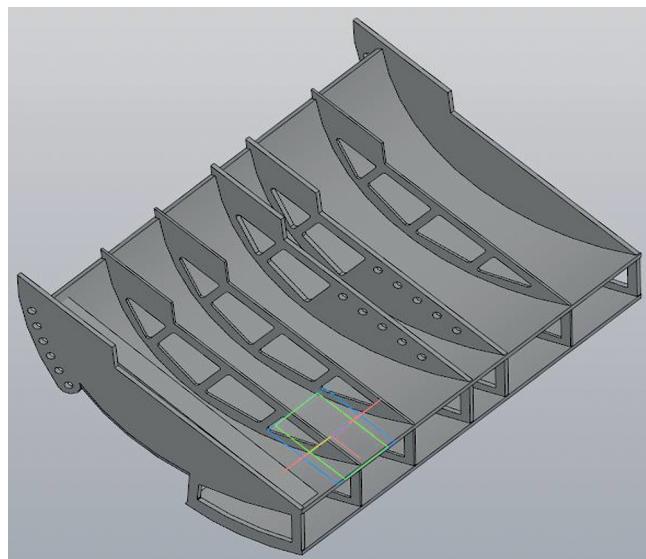


Рис. 3. 3D-модель крыловидной траповой доски  
Fig. 3. 3D-model of a wing-shaped trawl door

сок. Они позволяют определить оптимальную форму доски для обеспечения промысла в различных условиях [Афанасьев, 2007]. Например, компьютерное моделирование позволяет выяснить, как форма траповой доски влияет на горизонтальное раскрытие траха. Компьютерное моделирование помогает определить, как доска будет вести себя при различных условиях: при сильном течении, на разных глубинах и при различных углах атаки, крена и дифферента.

В рамках исследования траповых досок мы провели ряд численных экспериментов, используя программу «Гидродинамика траповых досок» [Недоступ,

Ражев, 2017 а]. Результаты компьютерных экспериментов могут помочь в оптимизации конструкций траповых досок и разработать рекомендации по их использованию при различных условиях промысла. На рис. 4 представлены результаты эксперимента при различной ориентации траповой доски к водному потоку.

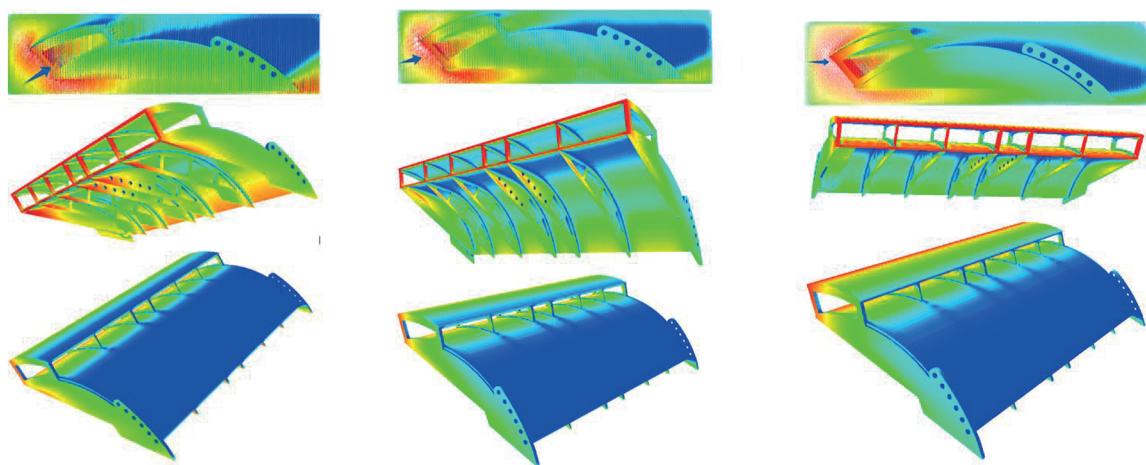
Расчёт сил гидродинамического сопротивления траповой доски выполнялся посредством решения систем уравнений Навье-Стокса методом расщепления на трёхмерной пространственной сетке. По входному значению вектора скорости потока и глубине погружения вычислялось поле давлений на поверхности траповой доски [Недоступ, Ражев, 2017 в]. Далее, по полю давлений вычислялся вектор силы гидродинамического сопротивления, приложенной к центру масс  $\mathbf{R}$  (1), и вектор крутящего момента сил гидродинамического сопротивления относительно центра масс  $\mathbf{M}$  (2):

$$\mathbf{R} = \sum_i S_i p_i \mathbf{n}_i, \quad (1)$$

$$\mathbf{M} = \sum_i S_i p_i \mathbf{n}_i \times \mathbf{r}_i, \quad (2)$$

где  $S_i$  – площадь поверхности траповой доски внутри  $i$ -й ячейки расчётной сетки;  $p_i$  – давление в  $i$ -й ячейке;  $\mathbf{n}_i$  – вектор нормали к поверхности, ориентированный внутрь материала траповой доски;  $\mathbf{r}_i$  – смещение центра поверхности относительно центра масс траповой доски;  $i$  – номер ячейки, через которую проходит поверхность траповой доски;  $\times$  – операция векторного произведения.

В установившемся режиме силы и крутящие моменты, действующие на траповую доску со стороны



а) Показатели эксперимента 3D-модели при углах атаки 20°, крена 0° и дифферента 0°

б) Показатели эксперимента 3D-модели при углах атаки 10°, крена 0° и дифферента 0°

в) Показатели эксперимента 3D-модели при углах атаки 0°, крена 0° и дифферента 0°

Рис. 4. Некоторые показатели эксперимента 3D-модели при различных углах атаки

Fig. 4. Some indicators of the experiment 3D-Models at various angles of attack

ваеров и кабелей, уравновешиваются силой гидродинамического сопротивления  $\mathbf{F}$  и моментом  $\mathbf{M}$ :

$$\begin{aligned} \mathbf{F} + \mathbf{F}_B + \mathbf{F}_{K1} + \mathbf{F}_{K2} &= 0; \\ \mathbf{M} + \mathbf{M}_B + \mathbf{M}_{K1} + \mathbf{M}_{K2} &= 0; \\ \mathbf{M}_B &= \mathbf{F}_B \times \mathbf{r}_B; \\ \mathbf{M}_{K1} &= \mathbf{F}_{K1} \times \mathbf{r}_{K1}; \\ \mathbf{M}_{K2} &= \mathbf{F}_{K2} \times \mathbf{r}_{K2}, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $\mathbf{F}_B$ ,  $\mathbf{F}_{K1}$  и  $\mathbf{F}_{K2}$  – векторы сил натяжения ваера и двух кабелей соответственно;  $\mathbf{M}_B$ ,  $\mathbf{M}_{K1}$  и  $\mathbf{M}_{K2}$  – векторы соответствующих вращающих моментов;  $\mathbf{r}_B$ ,  $\mathbf{r}_{K1}$  и  $\mathbf{r}_{K2}$  – смещение точки крепления ваера и двух кабелей к траловой доске относительно центра масс траловой доски [Abe et al., 1995; Харченко, 2008].

Для верификации полученных результатов численного моделирования гидродинамики траловой до-

ски были проведены экспериментальные исследования с закреплённой на трёх струнах траловой доске. Эксперименты проводились в гидроканале ООО «Фишеринг Сервис» (см. рис. 5).

Схема проведения экспериментов приведена на рис. 6.

В процессе экспериментов при помощи регулировки длин струн устанавливалась требуемая ориентация траловой доски к направлению потока воды в гидроканале. Скорость потока воды задавалась на пульте управления гидроканалом. Абсолютное значение сил натяжения в струнах измерялось при помощи электронных динамометров, а углы наклона оттяжек – при помощи угломера.

В табл. 1 представлены данные, полученные при испытании траловой доски в гидроканале.

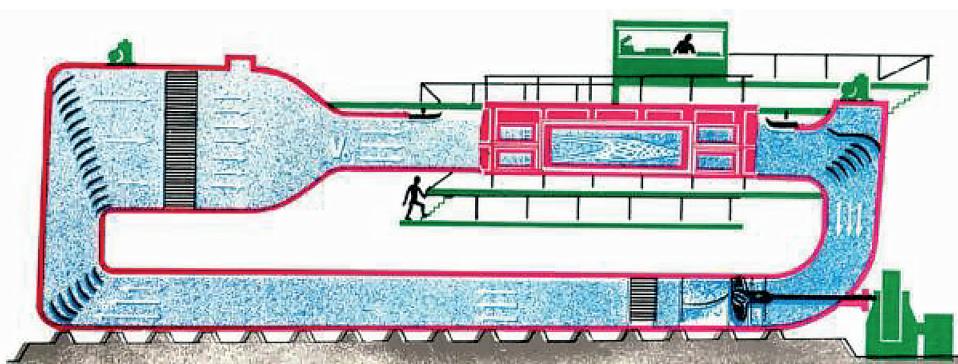


Рис. 5. Схема гидроканала «Фишеринг Сервис»

Fig. 5. Diagram of flume tank «Fishing Service»

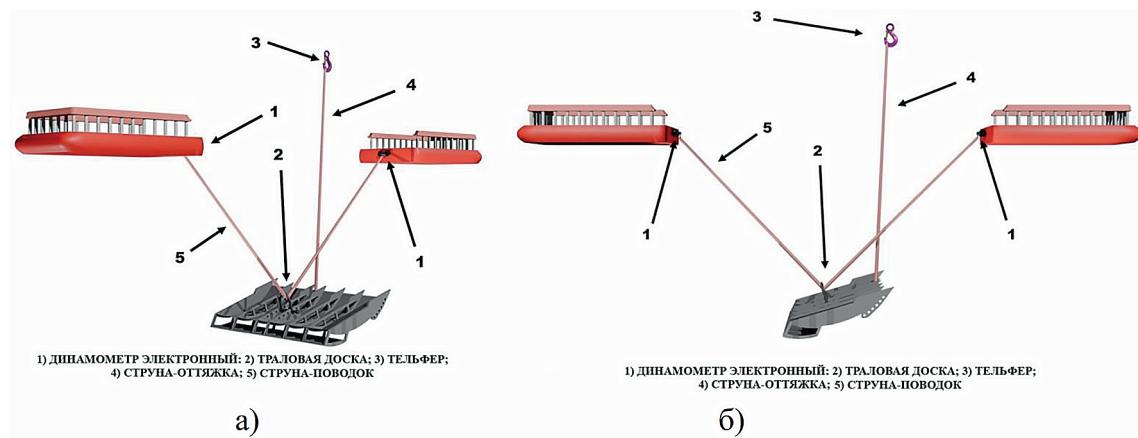


Рис. 6. Схема проведения экспериментов в гидроканале: а) вид спереди; б) вид сбоку

Fig. 6. Scheme of conducting experiments in the flume tank: a) Front view; b) Side view

Табл. 1. Результаты испытаний траповой доски в гидроканале «Фишинг Сервис»

Table 1. Results of the study in the flume tank «Fishing Service»

Скорость потока, м/с	Угол атаки, град	<i>с<sub>х</sub></i>	<i>с<sub>у</sub></i>	$\delta_{cx}$ , %	$\delta_{cy}$ , %
1,0	25	0,48	1,46	12	12
	30	0,59	1,79	10	10
	35	0,61	1,85	11	11
	40	0,62	1,81	10	10
	45	0,65	1,79	10	10
	50	0,7	1,79	11	11
	60	0,75	1,66	12	12

В табл. 1 приведены следующие сокращения: *с<sub>х</sub>*, *с<sub>у</sub>* – гидродинамические коэффициенты траповой доски;  $\delta_{cx}$ ,  $\delta_{cy}$  – среднеквадратические погрешности гидродинамических коэффициентов, полученные на множестве замеров.

По замеренным силам натяжения и углам наклона вычислялись векторы  $\mathbf{F}_B$ ,  $\mathbf{F}_{K1}$  и  $\mathbf{F}_{K2}$ . Далее, с учётом формулы (3) определялась величина относительного расхождения сил и моментов:

$$|\mathbf{F} + \mathbf{F}_B + \mathbf{F}_{K1} + \mathbf{F}_{K2}| / |\mathbf{F}| = \delta_F; \\ |\mathbf{M} + \mathbf{M}_B + \mathbf{M}_{K1} + \mathbf{M}_{K2}| / |\mathbf{M}| = \delta_M. \quad (4)$$

При этом в (4) в качестве  $\mathbf{F}$  и  $\mathbf{M}$  брались расчётные, а в качестве  $\mathbf{F}_B$ ,  $\mathbf{F}_{K1}$  и  $\mathbf{F}_{K2}$  – измеренные значения.

Итоговая среднеквадратическая погрешность вычислялась по формуле (5)

$$\delta = \sqrt{\delta_{cx}^2 + \delta_{cy}^2 + \delta_F^2 + \delta_M^2} \quad (5)$$

и составила 20%.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Физическое и компьютерное моделирование траповых досок обеспечивают совместные исследования

гидродинамики траповых досок [Недоступ, Ражев, 2021]. Основными гидродинамическими характеристиками траповых досок являются: максимальное значение коэффициента распорной силы *с<sub>у</sub>*, минимальное значение коэффициента сопротивления траповой доски *с<sub>х</sub>*, максимальное значение гидродинамического качества *k*, высокая статическая и динамическая устойчивости, а также прочность. Важным методом для проверки результатов компьютерного моделирования является сопоставление полученных данных с данными физических моделей траповых досок, полученных при проведении экспериментов в гидроканале.

Сопоставив значения погрешностей экспериментов в гидроканале (см. табл. 1) с итоговым значением среднеквадратической погрешности можно сделать вывод, что влияние погрешности вычислений на итоговую погрешность меньше погрешности экспериментов в гидроканале (около 17%) и находится в пределах 8%, что приемлемо для задач рыболовства.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

## Финансирование

Исследование выполнено в рамках выполнения государственного задания по теме «Разработка беспроводной системы контроля параметров трала с элементами искусственного интеллекта «Автотрал»».

## ЛИТЕРАТУРА

Афанасьев В.О. 2007. Системы 3D-визуализации индуцированной виртуальной среды. Автореф. дисс ... докт. физ.-мат. наук. М.: МГУ им. Ломоносова. 36 с.

Коротков В.К. 1972. Трал, поведение объекта лова и подводные наблюдения за ними. М.: Пищ. пром-ть. 271 с.

Мизюркин М.А. 2012. Влияние угла атаки траловых досок на сопротивление и геометрические параметры донной траловой системы // Известия КГТУ. № 24. С. 158-165.

Недоступ А.А., Ражев А.О. 2017 а. Математическая модель взаимодействия распорной траловой доски с водной средой // Морские интеллектуальные технологии. № 3(37) Т. 1. С. 154-157.

Недоступ А.А., Ражев А.О. 2017 б. Программное обеспечение для исследования гидродинамики распорных траловых досок // Морские интеллектуальные технологии. № 3(37) Т. 1. С. 168-173.

Недоступ А.А., Ражев А.О. 2017 в. Математическое описание распорной траловой доски для задач численного моделирования динамики разноглубинных траловых систем // Вестник АГТУ. Серия: Рыбное хозяйство. № 3. – С. 58-64.

Недоступ А.А., Ражев А.О. 2021. Производительность сил траловой системы: Постановка задачи // Вестник Астраханского ГТУ. Серия: Рыбное хозяйство. № 2. С. 55-65.

Федяевский К.К., Войткунский Я.И., Фадеев Ю.И. 1968. Гидромеханика. Л.: Изд-во Судостроение. 565 с.

Фридман А.Л. 1981. Теория и проектирование орудий промышленного рыболовства. М: Лёгкая и пищевая промышленность. 327 с.

Харченко С.А. 2008. Влияние распараллеливания вычислений с поверхностными межпроцессорными границами на масштабируемость параллельного итерационного алгоритма решения систем линейных уравнений на примере уравнений вычислительной гидродинамики // Труды Межд. науч. конф. «Параллельные вычислительные технологии», Санкт-Петербург, 28 января – 1 февраля 2008 г., Челябинск: Изд-во ЮУрГУ. С. 494-499.

Abe K., Kondoh T., Nagano Y. 1995. A New Turbulence Model for Predicting Fluid Flow and Heat Transfer in Separating and Reattaching flows-II. Thermal Field Calculation // Int. Journal of Heat and Mass Transfer. V. 38. No. 8. P. 1467-1481.

Journal of Heat and Mass Transfer. V. 38. No. 8. P. 1467-1481.

## REFERENCES

- Afanasiev V.O. 2007. Systems of 3D visualization of the induced virtual environment. Abstr. of the disser. doct. of Sciences in Phys.-Math. Moscow: MSU. 36 p. (In Russ.).
- Korotkov V.K. 1972. Трал, the behavior of the object of fishing and underwater observations of them. Moscow: Food industry. 271 p. (In Russ.).
- Mizyurkin M.A. 2012. Influence of the angle of attack of trawl doors on the drag and geometricalparameters of the bottom trawl system // News of KSTU. No. 24. P. 158-165. (In Russ.).
- Nedostup A.A., Razhev A.O. 2017 а. Mathematical model of the interaction of a spacer trawl door with the aquatic environment // Marine intelligent technologies. No. 3 (37) V.1. P. 154-157. (In Russ.).
- Nedostup A.A., Razhev A.O. 2017 б. Software for studying the hydrodynamics of spacer trawl doors // Marine intelligent technologies. No. 3(37) V.1. P. 168-173. (In Russ.).
- Nedostup A.A., Razhev A.O. 2017 в. Mathematical description of a spacer trawl door for problems of numerical modeling of the dynamics of multi-depth trawl systems // Vestnik ASTU. Series: Fisheries. No. 3. P. 58-64. (In Russ.).
- Nedostup A.A., Razhev A.O. 2021. Productivity of the forces of the trawl system: Statement of the problem // Vestnik ASTU. Series: Fisheries. No.2. P. 55-65. (In Russ.).
- Fedyavsky K. K., Voitkunsky Ya.I., Fadeev Yu.I. 1968. Hydromechanics. Leningrad: Shipbuilding Publishing House. P. 565. (In Russ.).
- Fridman A.L. 1981. Theory and design of industrial fishing gear. Moscow: Light and food industry. 327 p. (In Russ.).
- Kharchenko S.A. 2008. The influence of parallelization of calculations with superficial interprocessor boundaries on the scalability of a parallel iterative algorithm for solving systems of linear equations using the example of computational fluid dynamics equations // Proc. Intern. Scient. Conf. «Parallel Computing Technologies». St. Petersburg, January 28 – February 1 2008. Chelyabinsk: SUSU Publish. p. 494-499.
- Abe K., Kondoh T., Nagano Y. 1995. A New Turbulence Model for Predicting Fluid Flow and Heat Transfer in Separating and Reattaching flows-II. Thermal Field Calculation // Int. Journal of Heat and Mass Transfer. V. 38. No. 8. P. 1467-1481.

Поступила в редакцию 26.08.2024 г.  
Принята после рецензии 25.02.2025 г.

УДК 58(092)

## История

### Вера Фёдоровна Сарочан

В 2026 г. исполнится 80 лет, как на Сахалине появилось новое направление исследований – альгологическое. Наиболее значительный вклад в это направление внесла Вера Фёдоровна Сарочан.

В.Ф. Сарочан (в девичестве Шварц) родилась 20 января 1918 г. в г. Пронск Рязанской области. В 1936-1941 гг. училась в Горьковском ГУ по специальности «ботаника», по окончании которого Вера Фёдоровна преподавала в средней школе.



В январе 1949 г. В.Ф. Сарочан приехала работать на Сахалин в СахТИНРО. Как вспоминала сама Вера Фёдоровна, её приезд на Сахалин был неожиданным. Самолёт, на котором директор СахТИНРО А.Н. Пробатов летел в Москву, сделал остановку в Горьком. Его жена была однокурсницей Веры Фёдоровны и, узнав, что она осталась без работы, Александр Николаевич пригласил её на Сахалин работать. Она долго думала и все-таки решила поехать.

Её встретил в пос. Антоново известный дальневосточный альголог Гарри Иванович Гайл, недавно переехавший сюда из Владивостока. Под его руковод-

ством Vere Фёдоровне пришлось поработать всего год, но это была очень хорошая школа. Г.И. Гайл несколько месяцев знакомил молодую сотрудницу с видовым составом водорослей и методами полевой работы, а потом направил её в лагуну Буссе для исследования поля анфельции. В 1949 г. в лагуне была создана анфельциевая станция Сахалинрыбпрома, сотрудники которой не только контролировали промысел, но и обеспечивали научные исследования. Впоследствии В.Ф. Сарочан добилась, чтобы станция в 1964 г. перешла в ведение СахТИНРО.

После смерти Г.И. Гайла Вера Фёдоровна все направления работ во всех районах области осуществляла самостоятельно. Учитывая актуальность альгологических исследований и на основании запросов промышленности, 6 марта 1968 г. в СахТИНРО была создана лаборатория промысловых водорослей (на базе лаборатории нерыбных объектов). Возглавила новую лабораторию В.Ф. Сарочан.

Объём исследований, выполняемых лабораторией промысловых водорослей, был невероятно широк. Долгое время в пос. Антоново Вера Фёдоровна с сотрудниками проводила экспериментальные работы на полигонах, изучая особенности анатомии, морфологии, эмбриологии, физиологии, экологии, биохимии главного промыслового вида – ламинарии японской. Результаты исследований легли в основу разработанных ею рекомендаций по рациональной эксплуатации ресурсов ламинарии юго-западного Сахалина, а в последующем и всех остальных промысловых районах. Полученные данные об особенностях спороношения, развития гаметофита и спорофита на ранних стадиях привели к значительному увеличению доли изъятия ламинарии, рекомендованной к промыслу. Вера Фёдоровна утверждала, что для возобновления зарослей достаточно на полях оставлять 10% промысловых слоевищ. Действительно, на многих участках при таком изъятии заросли полностью восстанавливаются. Однако последующий промысел фиктенами в 1987-1992 гг. показал, что необходимым условием сохранения зарослей ламинарии все-таки является использование разрешённых (щадящих) орудий лова (канзы, водолазы), не повреждающих субстрат.

Именно Вере Фёдоровне принадлежит честь первого полного описания зарослей водорослей у островов Малой Курильской гряды в 1964 г. Найденные там экземпляры циматеры японской были первоначально описаны ею как широколистная ламинария. Уже с 1965 г. начались регулярные исследования в этом новом районе, были описаны доминирующие виды ламинарий, их запасы и распределение и установлено приоритетное промысловое положение Малых Курил как самого богатого по видовому составу и запасам морской капусты района. Значительную часть исследований в этом районе выполнял ученик В.Ф. Сарочан – Анатолий Дмитриевич Вялов.



В.Ф. Сарочан и А.Д. Вялов на плантациях ламинарии японской в зал. Анива 14 июня 1975 г. (фото А.Д. Вялова)

В прибрежной зоне всех островов Малой Курильской гряды В.Ф. Сарочан было выделено 6 массовых видов ламинариевых водорослей, представляющих большой интерес для промысла – *Laminaria japonica*, *L. cichorioides*, *L. angustata*, *L. yezoensis*, *Cymathere japonica*, *Arthrothamnus bifidus*.

Предварительная оценка ресурсов промысловых водорослей, в 1964 г., показала объём запасов ламинариевых водорослей порядка 450 тыс. т. К промыслу было рекомендовано не менее 200 тыс. т. В 1975 г. уточнение результатов исследований привело к увеличению величины ресурсов, в частности, в прибрежье о. Зелёный запасы ламинариевых водорослей превысили 785 тыс. т. Из них большая часть приходилась на смешанные заросли ламинарии японской и циматеры японской. Эти два вида являлись главными объектами промысла бурых водорослей в районе.

В 1963 г. японцы запросили у советской стороны разрешение на добычу ламинарии узкой на банке Опасная. На совещание в Москву Вера Фёдоровна была приглашена как консультант. Были разработаны условия и правила промысла ламинарии на бан-

ке. В 1974 г. в Токио состоялось второе совещание по длительному промыслу и состоянию запасов водоросли. Именно благодаря В.Ф. Сарочан в качестве биологической мелиорации было принято решение об обязательном изъятии двух видов сопутствующих водорослей: алярии и костарии, как конкурентов ламинарии за субстрат, в объёме не менее 10% от объёмов вылова ламинарии.

В 1969 г. В.Ф. Сарочан успешно защитила кандидатскую диссертацию «Биология, экология, распределение и запасы ламинарии японской (*Laminaria japonica* Aresch.) и некоторых других видов ламинарий у берегов южного Сахалина и Малой Курильской гряды». В своей работе она рассмотрела все аспекты биологии ламинарии, необходимые для оценки запаса и рекомендаций по эксплуатации. Так, ею было выявлено, что слоевища имеют два периода активного роста – весенний и осенний и два периода замедленного роста – летний и зимний. Рост слоевищ идёт постепенно: сначала в длину, потом в ширину и, в последнюю очередь, в толщину. Наблюдения за динамикой роста и развитием спороношения в разных районах Сахалина и Курильских островов легли в основу сроков промысла, закреплённых в Правилах рыболовства. Именно она определила, что сроки размножения в заливе Анива отличаются от юго-западного Сахалина на 15-25 дней, а у южных Курильских островов – на месяц.

Она же выявила чередование поколений в зарослях ламинариевых водорослей, определяющее динамику промысловых запасов. Для ламинарии японской соотношение в зарослях первогодних (непромысловых) и второгодних (промысловых) растений чередуется по годам и всегда близко к 40:60%. От этого зависит соотношение общей и промысловой биомассы. Именно с этим связано сильное колебание запаса в разные годы, так как заросли ламинариевых водорослей чаще всего бывают разновозрастными. Это соотношение является одним из важных показателей состояния популяций, используемых для прогнозирования объёма возможного вылова в конкретный год.

В 1971 г. В.Ф. Сарочан вместе с 3 сотрудниками ТИНРО (в т. ч. М.В. Суховеевой) и начальником отдела добычи Корсаковского рыбокомбината Гомолицким Ю.Е. посетили КНДР для ознакомления с разведением морской капусты. После поездки совместно с Корсаковским рыбокомбинатом начались экспериментальные работы по выращиванию ламинарии и разработка её биотехники (этую работу проводила С.К. Буянкина). В 60-е гг. неоднократно пытались выращивать ламинарию у юго-западного прибрежья (Татарский пролив). Однако все попытки в этом районе



В.Ф. Сарочан (третья справа) в КНДР

закончились неудачей. В зал. Анива двухлетний эксперимент прошёл успешно. В качестве субстрата использовали резиновые ленты, оседание и закрепление на которых было крепче. Все наработанные результаты использовали для составления «Временной инструкции по искусственному разведению ламинарии японской у южного Сахалина», на основании которой несколько предприятий успешно выращивали ламинарию в зал. Анива.

Особое внимание Вера Фёдоровна уделяла исследованиям красной водоросли анфельции. За весь период наблюдений за анфельцией советскими учёными менялись и совершенствовались методы исследования её пласта. Первые съёмки выполнялись с лодки при помощи храпа. Именно в лагуне Буссе при изучении пласта анфельции впервые были применены водолазы, а с 1960 г. – аквалангисты. Кстати, специальная рамка с ножками для взятия проб анфельции была впервые изготовлена в 1966 г. для залива Измены. Работы в лагуне Буссе проводили круглый год. Кроме ресурсных исследований, В.Ф. Сарочан с сотрудниками лаборатории (Л.И. Гриних, А.М. Кудрявцева, Л.Т. Прудникова, И.П. Иванов) проводили изучение фотосинтеза анфельции, изучали темпы прироста и осуществляли работы по воспроизводству. В частности, было выявлено, что годовой весовой прирост пласта анфельции колеблется от 7-8 до 14-15%.

Пласт анфельции является сформированным биоценозом со своим составом и структурой. Хотя Г.И. Гайл считал, что пласт неприкреплённой анфельции образуется путём отрыва прикреплённой анфельции, В.Ф. Сарочан доказала, что пласт анфельции не является случайными залежами оторванных водо-

рослей, а представляет собой сформированный биоценоз. Вера Фёдоровна обнаружила в лагуне столь мало прикреплённой анфельции (а в зал. Петра Великого и в зал. Измены её вообще не было обнаружено), что сделала вывод о непричастности прикреплённой анфельции к образованию пласта неприкреплённой, что и подтвердилось впоследствии для всех пластообразующих водорослей.

Ею впервые была разработана трёхпольная система с ежегодным изъятием на одном из участков до 30-40% от запаса облавливаемого участка. В дальнейшем данная система была признана неэффективной и заменена очередным изъятием анфельции на участках повышенных скоплений, но это произошло только с накоплением знаний о биологии водоросли. Интенсивный промысел с нарушением сроков, границ участков, превышение выделенных квот и несовершенное орудие лова привели к тому, что в лаг. Буссе в 1971 г. был введён запрет на промысел, т. к. запасы уменьшились почти в 10 раз, и пласт распался на несколько непромысловых частей. Снижение запасов наблюдалось и в зал. Измены. Произошло это не только потому, что рыбная промышленность частенько нарушала рекомендации науки, но и по причине недостаточной изученности вида. Только в 1980-е гг. было выяснено, что главным условием обитания анфельции является сложная система течений и наличие антициклонического круговорота. Именно поэтому задуманный Верой Фёдоровной эксперимент по расселению анфельции в подходящих для неё новых участках (хорошо защищённых бухтах с песчаным грунтом) на Сахалине (оз. Птичье) и о. Шикотан (б. Дельфин) закончились неудачей. Простая на вид водоросль анфельция,

на самом деле, имеет вовсе непростой характер. Её размножение только вегетативное, а рост зависит от множества факторов среды. Поэтому предугадать объём годового прироста биомассы невозможно. А значит и управлять ресурсами становится проблематичным.

В зал. Измены в период 1966-1980 гг., наряду с наблюдениями за промысловыми характеристиками поля, В.Ф. Сарочан и сотрудники лаборатории (Л.Т. Прудникова, А.М. Кудрявцева, М.Т. Андреева) проводили изучение отдельных аспектов биологии анфельции. Ими было отмечено, что наибольшая высота пласта наблюдается в районе промысла, т. е. добывание анфельции драгой ведёт к образованию искусственных скоплений – валов. Увеличение площади промыслового поля также связывалось с промыслом, т. е. разрыхление пласта ведёт к распространению анфельции по акватории залива.

В.Ф. Сарочан проработала в СахНИРО более 30 лет – с 1949 до 1980 гг. За свою бытность заведующей лабораторией промысловых водорослей Вера Фёдоровна воспитала немало учеников, имена каждого из них останутся в истории института и российской альгологии. Вот лишь некоторые из них: А.Д. Вялов, Л.А. Балконская, М.Т. Андреева, П.П. Иртюго, И.С. Гусарова, Т.Г. Дерябина. Себя я тоже отношу к ученикам Веры Фёдоровны, хотя увидела её, когда она уже пенсионером приезжала на Сахалин. Я училась по её отчётом, статьям, разбирая её архивы.

За время работы в институте Вера Фёдоровна значительно пополнила библиотеку СахНИРО литературой по ботанике, большая часть которой – работы японских учёных по альгофлоре региона. Была награждена медалью за доблестный труд.

К сожалению, не все результаты работ Веры Фёдоровны опубликованы, самая интересная и ценная информация хранится в архиве СахНИРО в виде отчётов и текстов докладов.

Вера Фёдоровна ушла из жизни в 2009 г. За свою жизнь она успела сделать очень многое, навсегда оставшись основателем альгологических исследований на Сахалине.

В заключение хочу поблагодарить директора СахНИРО Н.В. Колпакова и архивариуса СахНИРО Е.С. Шишкину за понимание и помочь в работе.

H.B. Евсеева

### Основные публикации В.Ф. Сарочан:

**1956.** Морская капуста южного Сахалина. Изд-во Советский Сахалин. 30 с. (с Меньшутиной Л.М.).

**1957.** Состояние зарослей морской капусты у юго-западных берегов Сахалина в 1955 году // Известия Тихоокеанского НИИ морского рыбного хозяйства и океанографии. Том 45. С. 210-213.

**1960.** О биологии анфельции в лагуне Буссе // Сборник работ по биологии, технике рыболовства и технологии. Вып. 1. Южно-Сахалинск. С. 39-48.

**1962.** Сырьевые запасы морских водорослей и перспективы дальнейшего развития промысла водорослей и трав в морях Дальнего Востока // Труды Всесоюзн. совещания работников водорослевой промышленности СССР. Том 1. СевНИИП. Архангельск. С. 32-44.

Об искусственном разведении морских водорослей в условиях Дальнего Востока // Труды Всесоюзн. совещания работников водорослевой промышленности СССР. Том 1. Архангельск. С. 45-49.

**1963.** Биология японской ламинарии у юго-западного побережья Сахалина // Известия ТИНРО. Том 49. С. 115-135.

**1968.** Изучение фотосинтеза анфельции из лагуны Буссе и залива Измены // Известия ТИНРО. Т. 65. С. 178-200. (с Гриних Л.И.).

**1969.** Биология, экология, распределение и запасы ламинарии японской (*Laminaria japonica* Aresch.) и некоторых других видов ламинарий у берегов южного Сахалина и Малой Курильской гряды. Автореф. дисс. ... к. б. н. Владивосток: ДВФ СО АН СССР. 26 с.

Изучение анфельции в лагуне Буссе с помощью водолазной техники // Морские подводные исследования. М.: Наука. С. 120-126.

**1975.** Геохимия лагуны Буссе на Сахалине. Новосибирск: Наука. 90 с. (с Задковой И.И., Малюшко Л.Д.).

**1981.** Экспериментальное выращивание японской ламинарии в заливе Анива // Промысловые водоросли и их использование. М.: ВНИРО. С. 32-34. (с Буянкиной С.К.)

Промысловые водоросли сублиторали островов Малой Курильской гряды // Промысловые водоросли и их использование. М.: ВНИРО. С. 44-51 (с Вяловым А.Д.).

УДК 595.384:639.28

## Информация. Экспедиции ВНИРО

# Оценка биологического состояния промысловых видов крабов в северо-западной части Охотского моря в 2024 г.

С.И. Моисеев<sup>1</sup>, А.В. Харитонов<sup>2</sup>, С.В. Клинушкин<sup>3</sup>, О.Ю. Борилко<sup>4</sup>, С.А. Моисеева<sup>5</sup>

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

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

<sup>3</sup> Магаданский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («МагаданНИРО»), ул. Портовая, 36/10, г. Магадан, 685000

<sup>4</sup> Тихоокеанский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), пер. Шевченко, 4, г. Владивосток, 690091

<sup>5</sup> Институт биофизики клетки (ФГБУН «ИБК РАН»), ул. Институтская, 3, г. Пущино, Московская обл., 142290

E-mail: moiseev@vniro.ru

SPIN-коды: С.И. Моисеев – 3045-4703; А.В. Харитонов – 6714-6088; С.В. Клинушкин – 6346-0525; С.А. Моисеева – 8619-6734

**Цель работы:** по результатам прямого учёта оценить биологическое состояние основных промысловых видов крабов в северо-западной части Охотского моря. **Материал и методы:** с 13.08 по 10.10.2024 г. собраны данные в диапазоне 11-104 м. Изучались крабы *Lithodidae* (камчатский *Paralithodes camtschaticus*, синий *P. platypus* и колючий *P. brevipes*) и крабы *Majoidea* (краб-стригун опилио *Chionoecetes opilio*). Орудие сбора – ко-нусные ловушки. Создание базы данных и её обработку проводили по стандартным методам рыбохозяйственных исследований. Для крабов даны параметры, описывающие их биологическое состояние в летне-осенний период. Массовым видам дана промыслово-статистическая информация по функциональным группам. **Результаты:** в Северо-Охотоморской подзоне наблюдается рост промысловой биомассы *P. camtschaticus* за счёт повышения численности старших размерно-возрастных групп пострекрутов и пространственной экспансии этой группы на север от Аяно-Шантарского района. В популяции *P. platypus* в настоящий период наблюдается существенный рост численности всех функциональных групп в районах, расположенных западнее 147° в. д. Краб *P. brevipes* в период исследований встречался не часто и только западнее 147° в. д. Краб *C. opilio* в районе исследований находится в удовлетворительном состоянии, что характерно для этой акватории, краб был представлен тугорослой группой западнее 147° в. д. и обычной группой восточнее. **Практическая значимость:** результаты учётной ловушечной съёмки будут учитываться в прогностических материалах по установлению общих допустимых уловов для *P. camtschaticus*, *P. platypus*, *P. brevipes* и *C. opilio* в Северо-Охотоморской подзоне.

**Ключевые слова:** Охотское море, *Paralithodes camtschaticus*, *Paralithodes platypus*, *Paralithodes brevipes*, *Chionoecetes opilio*, биология, улов.

## Assessment of the biological status of commercial crab species in the northwestern part of the Sea of Okhotsk in 2024

Sergej I. Moiseev<sup>1</sup>, Alexander V. Kharitonov<sup>2</sup>, Sergej V. Klinushkin<sup>3</sup>, Oleg Yu. Borilko<sup>4</sup>, Svetlana A. Moiseeva<sup>5</sup>

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

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

<sup>3</sup> Magadan branch of VNIRO («MagadanNIRO»), 36/10, Portovaya st., Magadan, 685000, Russia

<sup>4</sup> Pacific branch of VNIRO («TINRO»), 4, per. Shevchenko, Vladivostok, 690091, Russia

<sup>5</sup> Institute of Cell Biophysics RAS («ICB RAS»), 3, Institutskaya str., Pushchino, Moscow reg., 142290, Russia

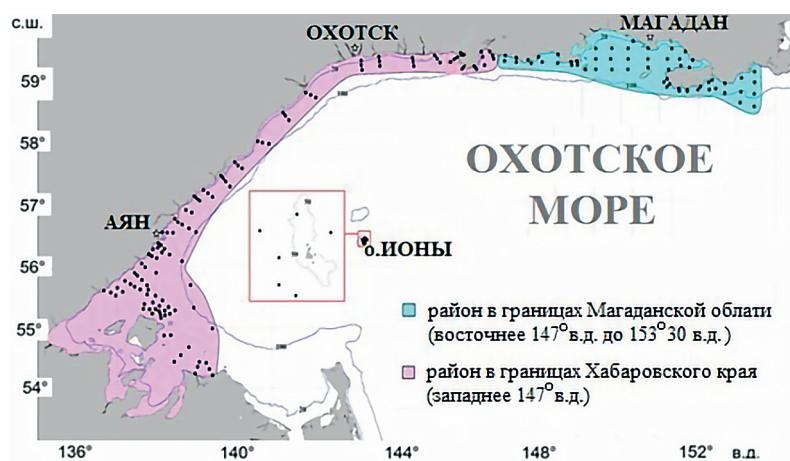
**The purpose** of the work is to evaluate the biological status of the main commercial crab species in the northwestern part of the Sea of Okhotsk based on the results of direct accounting. **Materials and methods.** From 13.08 to 10.10.2024, data was collected in the range of 11-104 m. *Lithodidae* crabs (the red king crab *Paralithodes camtschaticus*, the blue king crab *P. platypus* and the brown king crab *P. brevipes*) and crabs *Majoidea* (the snow crab *Chionoecetes opilio*) were studied. Sampler – cone traps. The database was created and processed using standard methods of fisheries research. The parameters describing their biological state in the summer and autumn period are given for crabs. Commercial and statistical information on functional groups is given to mass species. **Results.** In the North Okhotsk subzone, there is an increase in the commercial biomass of *P. camtschaticus* due to an increase in the number of older size and age groups of postrecruits and the spatial expansion of this group northward from the Ayano-Shantarovsky district. In the population *P. platypus* currently has a significant increase in the number of all functional groups in areas located west of 147°E. The crab *P.*

*brevipes* was not common during the research period and only west of 147°E. The crab *C. opilio* is in satisfactory condition in the research area, which is typical for this water area, the crab was represented by a stunted group west of 147°E. and the usual group to the east. **Practical significance.** The results of the trap survey will be taken into account in the prognostic materials for establishing the total allowable catches for *P. camtschaticus*, *P. platypus*, *P. brevipes* and *C. opilio* in the Northern part of the Sea of Okhotsk.

**Keywords:** Sea of Okhotsk, *Paralithodes camtschaticus*, *Paralithodes platypus*, *Paralithodes brevipes*, *Chionoecetes opilio*, biology, catch.

Исследования ФГБНУ «ВНИРО» по программе ресурсных исследований 2024 г. выполнялись в Северо-Охотоморской подзоне с целью оценки биологического состояния и пространственного распределения промысловых видов крабов. Материал собран в период 13.08-10.10.2024 г. на научно-исследовательском судне (НИС) «Зодиак», судовладелец «БИФ ВНИРО». Научно-исследовательские работы проходили на глубинах от 11-12 до 99-104 м в прибрежных водах (рис. 1): у о. Ионы (район I), в Магаданской области (восточнее 147° в.д. – район II) и в Хабаровском крае (западнее 147° в.д. – район III).

Сбор и обработку результатов проводили по методикам, принятым во ВНИРО. Орудие сбора – конусные ловушки, собранные в порядки по 20 штук с расстоянием между ними 20 м, площадь облова ловушки 3300 м<sup>2</sup> [Моисеев, 2003; Бизиков и др., 2006; Мельник и др., 2014]. За рейс выполнено 186 станций (средний застой 1,04 суток), проведён анализ для 16915 экз. крабов (табл. 1-2). Обработаны 401 физиологическая проба и столько же биохимических (табл. 3). На 145 станциях в придонном слое измеряли температуру (T °C) воды.



**Рис. 1.** Карта-схема района в Северо-Охотоморской подзоне в августе-октябре 2024 г. (точками обозначены ловушечные станции)

**Fig. 1.** Schematic map research area in the Northern part of the Sea of Okhotsk in August-October 2024 (the dots indicate the trap stations)

**Таблица 1.** Биологические характеристики *P. platypus* и *P. camtschaticus* в районе исследований

**Table 1.** Biological characteristics of *P. platypus* and *P. camtschaticus* in the study area

Показатели	<i>P. platypus</i>			<i>P. camtschaticus</i>	
	о. Ионы (I)	Магадан (II)	Хабаровск (III)	Магадан (II)	Хабаровск (III)
Ловушки на биоанализ	104	1021	1826	1021	1786
N, экз. – ♂♂ / ♀♀ <sup>1</sup>	961 / 125	2403 / 1602	2876 / 1312	66 / 11	2453 / 1369
от-до	68-187	71-190	54-171	80-225	64-186
♂ ШК, мм	moda	150-159	120-139	120-129	150-159
	aver	135,6	122,9	115,0	132,7
					137,5

Окончание табл. 1

Показатели	<i>P. platypus</i>					<i>P. camtschaticus</i>					
	о. Ионы (I)	Магадан (II)	Хабаровск (III)	Магадан (II)	Хабаровск (III)	о. Ионы (I)	Магадан (II)	Хабаровск (III)	о. Ионы (I)	Магадан (II)	
промышленные δ♂ / ШК, мм	доля	61,8	39,8	27,1	48,5	67,1					
	авер	149,8	143,5	139,4	155,5	149,5					
♀♀ ШК, мм	от-до	72-141	66-141	62-133	81-123	58-124					
	мода	90-99	90-99	80-99	80-109	90-99					
Стадии икры <sup>2</sup> , %	авер	94,9	98,8	93,8	100	92,3					
	би/ив/иц/нг	5,6/49,6/5,6/-	1,5/10,8/0,3/45,1	1,6/18,9/0,2/30,1	36,4/18,2/9,1/36,4	0,4/2,6/0,5/96,3					
Межлиночная стадия или внешнее со- стояние кара- пакса, %	иг/лв/мн/ял	-/14,4/24,0/8*	-/41,5/0,9/-	-/48,6/0,7/-	-/-/-/-	-/-/0,2/-					
	♂♀	♂♂	♀♀	♂♂	♀♀	♂♂	♀♀	♂♂	♀♀	♂♂	♀♀
Межлиночная стадия или внешнее со- стояние кара- пакса, %	1-2	0,1	-	0,1	0,01	0,1	-	-	-	-	0,1
	3,0	47,3	54,4	49,7	4,9	55,1	5,4	7,6	18,2	33,1	0,6
	3,1	42,2	28,8	32,2	55,3	31,3	48,9	72,7	81,8	34,1	98,8
	3,2	9,5	16,8	16,4	39,8	11,5	45,7	15,1	-	29,6	0,5
	4	0,8	-	1,5	-	2,0	-	4,6	-	3,2	-

Примечание: 1 – число ♂♂ и ♀♀ в биоанализах; 2 – стадии зрелости: би- ювенильные неполовозрелые самки без икры; ив – икра внутренняя (в гонадах); иц – икра цветная новая, оранжевая (ио), фиолетовая (иоф) и другого цвета; нг – икра начального глазка, бурая (иб); иг – икра с глазками, поздняя; лв – личинки выпущены, мн – межнерестовая; ял – яловая или с саккулиной.

Таблица 2. Биологические характеристики *P. brevipes*, *C. bairdi* и *C. opilio* в районе исследованийTable 2. Biological characteristics of *P. brevipes*, *C. bairdi* and *C. opilio* in the study area

Показатели	<i>P. brevipes</i>		<i>C. bairdi</i>		<i>C. opilio</i>						
	Хабаровск (III)	Магадан (II)	о. Ионы (I)	Магадан (II)	Хабаровск (III)	о. Ионы (I)	Магадан (II)	Хабаровск (III)	о. Ионы (I)	Магадан (II)	
ловушки на биоанализ	1826	680	104	938	1811						
N, экз. – ♂♂ / ♀♀ <sup>1</sup>	389 / 299	156 / 0	7 / 0	1725 / 1	1156 / 3						
♂♂ ШК, мм	от-до	76-162	90-169	103-108	57-153	52-130					
	мода	110-119	130-139	-	110-119	80-89					
промысловые ♂♂ / ШК, мм	авер	120,5	130,4	105,9	104,4	90,7					
	доля	84,6	-	100	59,4	25,9					
♀♀ ШК, мм	авер	125,9	-	105,9	116,7	108,8					
	от-до	78-134	-	-	69	47-60					
♀♀ ШК, мм	мода	110-119	-	-	-	-					
	авер	104,1	-	-	-	52,0					
Стадии икры <sup>2</sup> , %	би/ив/иц/нг	-/11,0/-/86,6	-	-	-/-/100/-	-/-/100/-					
	иг/лв/мн/ял	-/0,7/1,7/-	-	-	-	-					
Межлиночная стадия или внешнее со- стояние кара- пакса, %	♂♀	♂♂	♀♀	♂♂	♀♀	♂♂	♀♀	♂♂	♀♀	♂♂	♀♀
	1-2	1,2	-	1,3	-	-	-	1,0	-	1,2	-
	3,0	38,5	0,4	34,6	-	-	-	27,0	-	18,2	-
	3,1	60,0	98,8	44,2	-	14,3	-	29,7	100	34,0	100
	3,2	0,3	0,8	18,6	-	85,7	-	36,7	-	40,2	-
	4	-	-	1,3	-	-	-	5,6	-	6,4	-

Примечание: см. табл. 1. δ

**Таблица 3.** Физиологические и биохимические параметры крабов в районе исследований  
 Table 3. Physiological and biochemical parameters of crabs in the study area

Пол	Параметр	Стадия линьки	<i>P. platypus</i>	<i>P. camtschaticus</i>	<i>P. brevipes</i>	<i>C. opilio</i> Магадан (II)		<i>C. opilio</i> Хабаровск (III)	
						УПС	ШПС <sup>1</sup>	УПС	ШПС <sup>1</sup>
♂♂	НКМТ, %	1-2	30-45 / 40,5	-	25-45 / 35,2	35-40 / 38	20-35 / 27,5	50-65 / 57,5	65-70 / 68
		3,0	45-90 / 68,8	50-85 / 67	40-80 / 62,6	65-85 / 76	40-80 / 58,6	60-80 / 71,2	70-85 / 77,0
		3,1	70-95 / 80,4	70-95 / 83	60-90 / 74,1	70-90 / 81	70-90 / 81,6	75-90 / 81	80-90 / 85
		3,2	75-100 / 86,9	65-95 / 83,4	70-80 / 77	75-95 / 85	60-90 / 82,8	85-90 / 88	80-90 / 84,3
	СБГ, г/100 мл	4	27-90 / 56,2	35-70 / 47,9	-	50-55 / 52,5	25-90 / 59,9	30-65 / 46	45-80 / 64,7
		1-2	2,2-3,8 / 3,0	-	1,4-3,4 / 2,8	3,3	1,8-2,0 / 1,9	2,7-2,9 / 2,8	2,8
		3,0	2,7-4,7 / 3,6	2,5-5,6 / 4,0	2,8-4,7 / 3,5	3,1-5,1 / 4,3	2,5-5,1 / 3,5	3,8-6,5 / 4,9	5,1-7,0 / 6,2
		3,1	3,1-9,0 / 5,1	3,0-6,2 / 5,1	2,9-8,1 / 4,3	4,4-6,9 / 5,7	4,0-10,8 / 6,9	3,0-6,3 / 4,7	6,4
♀♀	НКМТ, %	3,2	3,6-8,9 / 5,7	3,4-7,7 / 5,5	3,8-4,0 / 3,9	8,4-9,0 / 8,7	3,7-7,7 / 5,5	4,7	5,0-7,2 / 5,8
		4	1,4-5,1 / 3,1	1,8-3,0 / 2,5	-	2,6-5,2 / 3,9	2,5-6,8 / 4,6	2,8-3,9 / 3,4	2,3-3,4 / 2,8
		1-2	-	-	-	-	-	-	-
		3,0	50-90 / 66,1	35-60 / 45,8	75-80 / 78	-	-	-	-
	СБГ, г/100 мл	31	50-90 / 72,1	70-95 / 82	65-90 / 81,4	90		85-90 / 89,0	
		3,2	70-95 / 85,2	80-95 / 88,9	85-90 / 87	-	-	-	-
		4	-	-	-	-	-	-	-
		1-2	-	-	-	-	-	-	-
	СБГ, г/100 мл	3,0	2,4-5,9 / 4,5	2,5-2,9 / 2,6	4,7	-	-	-	-
		31	3,7-7,0 / 5,4	3,6-7,5 / 6,0	4,0-6,8 / 5,8	5,6		5,0-5,2 / 5,1	
		3,2	4,0-9,0 / 6,8	4,7-7,7 / 6,5	8,9	-	-	-	-
		4	-	-	-	-	-	-	-

Примечание: 1 – ШПС широкопалые самцы, для которых 4-я стадия внешнего состояния карапакса соответствует предэлиминационному периоду, а для УПС (узкопалые самцы) это преддиночная стадия.

**Остров Ионы (I).** Исследования проводили 13-14.08.2024 г. на небольшой площади (41 км<sup>2</sup>), поэтому, промысловый потенциал района I не оценивали. Температура воды соответствовала фенологическому лету: на поверхности она была 5,7-11,3 °C, средняя 8,37 °C, а придонная T °C воды на 48-87 м составляла 0,9-2,4 °C, средняя 1,78 °C. В уловах доминировал краб синий *Paralithodes platypus* Brandt 1850, иногда на глубинах >70 м наблюдался краб-стригун опилио *Chionoecetes opilio* (Fabricius, 1788), а на 86 м отмечен самец равношипого краба *Lithodes aequispinus* Benedict 1895.

**Прибрежные воды Магаданской области (II) и Хабаровского края (III).** Площадь НИР в районе II за 16-30.08.2024 г. составила 15765 км<sup>2</sup>, а в районе III за 30.08-10.10.2024 г. – 44514 км<sup>2</sup>. В этих районах хорошие промысловые скопления формировали два

вида – краб камчатский *P. camtschaticus* (Tilesius 1815) и *P. platypus*, но иногда скопления на ограниченной площади создавал и краб колючий *P. brevipes* (Milne-Edwards et Lucas, 1841). Среди промысловых крабов Северо-Охотоморской подзоны *C. opilio* является наиболее массовым, но в прибрежных водах он встречался разреженными агрегациями, при этом, западнее 147° в. д. встречались тугорослые особи, а восточнее крабы с обычным темпом роста. Восточнее 150° в.д. выполнено 38 станций, на 13-ти (глубины 34-104 м) были самцы краба-стригуна Бэрда *C. bairdi* Rathbun 1924 с наибольшими уловами на 39-79 м до 1,5-3,43 экз./лов., а средний улов был 0,23 экз./лов.

Биологическое состояние промысловых крабов (табл. 1-3) в районах исследований характерно для летне-осеннего активного нагула. В районе II на глубинах 14-104 м T °C воды у дна была от +11,4

до  $-0,2$   $^{\circ}\text{C}$ , средняя  $3,55$   $^{\circ}\text{C}$ , а на поверхности  $5,3$ - $13,9$   $^{\circ}\text{C}$ , средняя  $10,0$   $^{\circ}\text{C}$ . Сходная  $T$   $^{\circ}\text{C}$  водных масс была и в районе III, здесь поверхностная  $T$   $^{\circ}\text{C}$  воды была  $6,6$ - $12,0$   $^{\circ}\text{C}$ , средняя  $8,4$   $^{\circ}\text{C}$ . На глубинах  $11$ - $99$  м придонная  $T$   $^{\circ}\text{C}$  воды была от  $+11,8$  до  $-1,4$   $^{\circ}\text{C}$ , средняя  $4,41$   $^{\circ}\text{C}$ , но в районе III отрицательные значения  $T$   $^{\circ}\text{C}$  воды были неизменными глубже  $65$ - $70$  м.

**Краб синий** в исследованных районах встречался от  $18$ - $20$  до  $90$ - $95$  м, но чаще от  $30$ - $40$  до  $85$ - $95$  м. Крабы с максимальной шириной карапакса (ШК) чаще были в I и во II районах. В районе I доля самцов с  $\text{ШК} \geq 130$  мм –  $62\%$ , во II –  $40\%$ , а в III только  $27\%$ . В зоне исследований биологическое состояние (табл. 1) и физиологические и биохимические параметры (табл. 3) соответствовали летне-осеннему периоду. Свыше  $80$ - $85\%$  самцов были в постлиночных стадиях 3.0-3.1, а значимая доля самок была в стадии 3.2 (17-46%). Постлиночные процессы вза-

имосвязаны с физиологическим состоянием крабов. У самцов среднее наполнение конечностей мышечной тканью (НКМТ) росло от стадии 2 (40,5%) до стадии 3.2 (86,9%) и снижалось в 4 предлиночной (56,2%). Сходная картина была и у самок. Динамика НКМТ коррелирует с содержанием белка в гемолимфе (СБГ) крабов – рост СБГ был от стадии 2 к стадии 3.2 (2,2- $9,0$  г/100 мл) и уменьшение на стадии 4 (3,1г/100 мл).

Результаты исследований 2024 г. указывают на хорошее биологическое состояние синего краба и его высокой численности в Северо-Охотоморской подзоне. Самцы с  $\text{ШК} \leq 129$  мм составляли 28 млн экз., а самки до 22 млн экз. (табл. 4). Мгновенная численность промысловых самцов составляет 16,6 млн экз., но из них 73% составляют промысловый потенциал района III (западнее  $147^{\circ}$  в. д.), тогда как промышленный вылов проходит в районе II на участке 5 (рис. 2).

**Таблица 4.** Некоторые промыслово-статистические показатели основных видов крабов в Северо-Охотоморской подзоне в августе-октябре 2024 г.

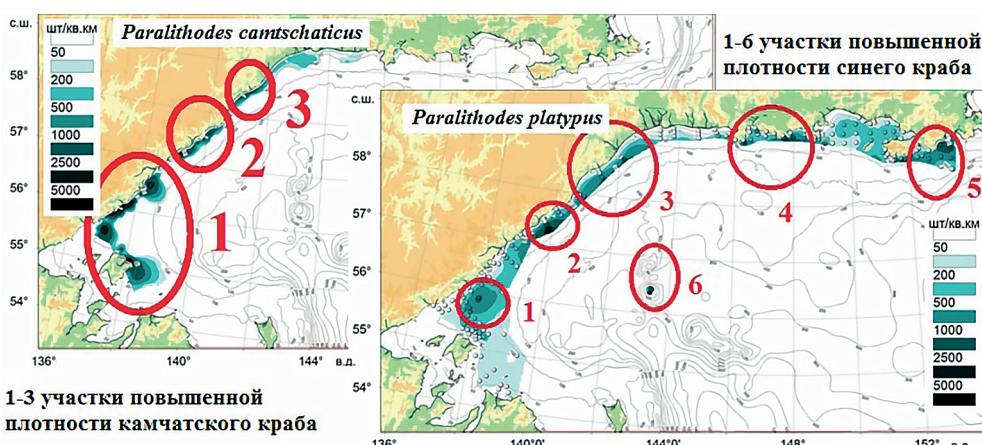
**Table 4.** Some commercial and statistical indicators of the main crab species in the north-western part of the Sea of Okhotsk in August-October 2024

Вид	Пол	Группа	Улов <sup>(1)</sup> , экз./лов.	Доля, %	Плотность <sup>(1)</sup> , тыс. экз./км <sup>2</sup>	N <sup>(2)</sup> , млн экз.
Синий	Самцы	$\geq 130$ мм	11 / 0,90	25,2	3,26 / 0,27	16,6
		$\leq 129$ мм	56 / 1,99	(10,9 / 10,0 / 21,2)*	16,97 / 0,6	27,943
Камчатский	Самки	все	28 / 1,36	32,7	8,4 / 0,41	21,704
		$\geq 130$ мм	29 / 1,02	43,2	8,7 / 0,31	13,881
Колючий	Самцы	$\leq 129$ мм	19 / 0,56	(7,5 / 6,5 / 7,4)*	5,6 / 0,17	6,876
		все	35 / 1,17	35,4	10,4 / 0,36	16,116
Опилио	Самцы	$\geq 100$ мм	5 / 0,11	47,2	1,5 / 0,034	1,743
		$\leq 99$ мм	1,2 / 0,02	(6,4 / 2,5 / 0,4)*	0,35 / 0,01	0,323
	Самки	все	2,4 / 0,1	43,5	0,74 / 0,03	1,647
		$\geq 100$ мм	12 / 0,6	44,1	3,5 / 0,17	18,6
	Самцы	$\leq 99$ мм	11 / 0,7	(19,3 / 21,1 / 15,4)*	3,2 / 0,23	36,8
		все	н/д**	<0,1	н/д	н/д

Примечание: 1 – максимальное и среднее значение параметра; 2 – мгновенная численность крабов по группам; \* – три размерных группы непромысловых самцов (пререкруты 1 / 2 / 3); \*\* – нет данных.

**Краб камчатский** в районе II встречался редко, но был массовым в районе III. Крабы отмечались в диапазоне  $11$ - $97$  м, но чаще от  $20$ - $35$  до  $60$ - $65$  м. В уловах доминировали самцы, доля промысловых особей во II районе 49%, а в III 67%. Во II районе ШК промысловых самцов достигала  $225$  мм, а в III –  $186$  мм. Биологические, физиологические и биохимические параметры краба камчатского в районах исследований (табл. 1; 3) соответствовали сезону исследований. Если в районе II 73% самцов были в постлиночной стадии

3.1, то в III они были в стадиях 3.0-3.1-3.2 практически в равных пропорциях. Большинство самок были в стадии 3.1. Линочный цикл крабов обусловливал степень НКМТ – у самцов средние значения возрастали от 67% на стадии 3.0 до 83,4% на стадии 3.2, но снижалось до 47,9% на стадии 4. Сходная картина была и для значений СБГ – рост с 4,0 до 5,5 в постлиночный период и резкое падение до 2,5 единиц в предлиночный. У самок динамика значений НКМТ и СБГ была сходной.



**Рис. 2.** Распределение промысловых самцов крабов *P. camtschaticus* и *P. platypus* в Северо-Охотоморской подзоне в летне-осенний период 2024 г.

**Fig. 2.** Distribution of commercial male crabs *P. camtschaticus* and *P. platypus* in the north-western part of the Sea of Okhotsk in the summer-autumn period of 2024

В отличие от предыдущих учётных съёмок площадь плотных скоплений краба камчатского в 2024 г. увеличилась и распространилась севернее Аяно-Шантарского участка (рис. 2), как и ранее в районе II краб встречался редко. Мгновенная численность промысловых самцов в зоне исследований была 13,9 млн экз. (табл. 4), она немного ниже исторического максимума 2018 г. (15,4 млн экз.). При этом надо учитывать, что в 2024 г. за счёт высокой численности старших возрастных групп промысловая биомасса запаса была выше биомассы 2018 г. В целом биологическое состояние и промыслово-статистические показатели камчатского краба сегодня находятся на высоком уровне.

**Краб колючий.** Во время исследований 2024 г. встречался периодически только в районе III на глубинах от 11-12 до 48 м. У самцов в улове доля особей с  $ШК \geq 100$  мм 85%. Численность самок колючего краба 1,6 млн экз., промысловых самцов 1,7 млн экз., а самцов с  $ШК \leq 99$  мм только 0,3 млн экз. Биологическое состояние и промыслово-статистические показа-

тели 2024 г. (табл. 2; 4) указывают на неопределенное состояние этого краба в период исследований. Более 98% самцов и самок были в стадиях 3.0-3.1. Во время исследований у крабов были большие разбросы показателей НКМТ при низких средних значениях 62-74%. Сходная динамика изменений была и в значениях СБГ (табл. 3).

**Краб-стригун опилио** встречался на всей акватории исследований. В уловах отмечено четыре самки на глубинах  $>70$  м. Самцы штучно были в I и массово во II и III районах (табл. 2). Самцы *C. opilio* встречались от 35-40 до 104 м, но чаще глубже 55-65 м. В I и II районах средняя ШК у самцов была 106-105 мм, а в III районе менее 91 мм. В районе II доля самцов с  $ШК \geq 100$  мм была 60%, а в III, таких самцов было лишь 26%. Параметры биологического состояния, физиологические и биохимические показатели (табл. 3) соответствовали летне-осеннему периоду, когда в уловах наблюдались самцы с различным состоянием панциря. Доля узкопалых самцов предли-

**Таблица 5.** Встречаемость основных функциональных групп краба *C. opilio* в районе исследований  
**Table 5.** The occurrence of the main functional groups of the crab *C. opilio* in the research area

Самцы	ШК <100 мм		ШК $\geq 100$ мм	Всего
	Районы II / III	Районы II / III	Районы II / III	
Широкопалые (ШПС)	n	598 / 407	1032 / 106	1630 / 513
	%	31,0 / 52,2	53,6 / 13,6	84,6 / 65,8
Узкопалые (УПС)	n	216 / 255	80 / 12	296 / 267
	%	11,2 / 32,7	4,2 / 1,5	15,4 / 34,2
Всего	n	814 / 662	1112 / 118	1926 / 780
	%	42,2 / 84,9	57,8 / 15,1	100 / 100

ночной стадии 4 была до 6 % от улова. Численность самцов оценена в 55,4 млн экз. из них промысловых 18,6 млн экз. (см. табл. 4). Для установления терминальной линьки у *C. opilio* применяли коэффициент морфометрической половозрелости (Кф%) [Моисеев и др., 2018]. Было выявлено, что в районе II дифференциация между ШПС и УПС происходит при Кф 19,5-20%. В районе III подобное разделение происходит уже при 18-18,5%. Используя Кф%, установили функциональный состав самцов *C. opilio* во II и в III районах. Результаты исследований (табл. 2; 5) свидетельствуют о наличии у *C. opilio* тугорослой группировки в прибрежных водах Хабаровского края. В целом, результаты учётной съёмки 2024 г. указывают на стабильное состояние популяции краба *C. opilio* в прибрежных водах Северо-Охотоморской подзоны.

### Благодарности

Авторы выражают искреннюю признательность экипажу НИС «Зодиак» за помощь и 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.

Мельник А.М., Абаев А.Д., Васильев А.Г., Клинушкин С.В., Метельев Е.А. 2014. Крабы и крабоиды северной части Охотского моря. Магадан: МагаданНИРО. 198 с.

Моисеев С.И. 2003. Промыслово-биологические исследования камчатского краба (*Paralithodes camtschaticus*) в январе-марте 2002 г. в прибрежной зоне Варангер-фьорда (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. konf. commers. invertebrate. Moscow: VNIRO. P. 18-24. (in Russ.)

Melnik A. M., Abaev A. D., Vasilyev A. G., Klinushkin S. V., Metelyev E.A. 2014. Crabs and king crabs of the northern part of the Okhotsk Sea. Magadan: MagadanNIRO. 198 s. (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 23.01.2025 г.

УДК: 597.442(282.256.66)

## Информация. Экспедиции ВНИРО

# Размерный состав и распределение сибирского осетра в нижнем течении реки Вилюй в раннелетний период 2024 г.

О.Ю. Вилкова<sup>1</sup>, А.Б. Васёв<sup>2</sup>, И.А. Петров<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup> Главное бассейновое управление по рыболовству и сохранению водных биологических ресурсов (ФГБНУ «Главрыбвод»), 1-й Дербеневский переулок, д.5, стр. 4, Москва, 115114

<sup>3</sup> 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; А.Б. Васёв – 4029-1912; И.А. Петров – 6741-0500

**Цель работы:** оценка современного биологического состояния и распределения сибирского осетра в р. Вилюй.  
**Материал:** данные учётной съёмки с применением донных плавных и ставных сетей в июне 2024 г.

**Результаты:** на 470-километровом отрезке нижнего течения р. Вилюй осётр распределялся неравномерно: средняя плотность составляла 197 экз./км<sup>2</sup>, наибольшей плотности 1307 экз./км<sup>2</sup> скопления достигали в средней части отрезка, значительно разреживаясь до 7-28 экз./км<sup>2</sup> выше по течению и до 116 экз./км<sup>2</sup> ниже по течению. На приустьевом участке осётр в уловах не отмечен из-за резкого подъёма уровня паводка. В выборке из улова плавных донных сетей значение промысловой длины осетра (*ac*) варьировало от 36,0 до 60,0 см, в среднем 47,6 см. В выборке ставных сетей эти значения составляли соответственно 40,0-65,0 52,3 см. Модальным для сибирского осетра в улове 2024 г. являлся размерный класс 41-50 см (59% общего улова). Средняя масса особи составляла 0,6 кг. В улове в плавных сетях не встреченено особей, достигших размера, при котором разрешён промысел (> 62 см); в ставных сетях доля промысловых особей составляла 7%. Половозрелых особей не отмечено.

**Практическое значение:** результаты исследований будут использованы для оценки размерно-весового состава части популяции сибирского осетра, нагуливающейся в среднем течении р. Лены.

**Ключевые слова:** сибирский осётр *Acipenser baerii*, река Вилюй, размерный состав, распределение.

## Size composition and distribution of Siberian sturgeon in the lower reaches of the Vilyui River in the early summer period of 2024

Olga Yu. Vilkova<sup>1</sup>, Anton B. Vasiov<sup>2</sup>, Ivan A. Petrov<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup> The Main Basin Department for Fishery and Conservation of Water Biological Resources («Glavrybvod»), 1st Derbenevsky lane, 5, b. 4, of. 101, Moscow, 115114, Russia

<sup>3</sup> Yakutsk branch of VNIRO («YakutskNIRO»), 32/3, off. 1, st. Yaroslavsky, Yakutsk, 677018, Russia

**The aim:** assessment of the current biological status and distribution of Siberian sturgeon in the Vilyui River.  
**Material:** data from a survey using bottom drift and fixed nets in June 2024.

**Results:** on the 470-kilometer section of the lower reaches of the Vilyui River, sturgeon were distributed unevenly: the average density was 197 specimens/km<sup>2</sup>, the highest density of 1307 specimens/km<sup>2</sup> was reached in the middle part of the section, significantly thinning out to 7-28 specimens/km<sup>2</sup> upstream and to 116 specimens/km<sup>2</sup> downstream. In the area adjacent to the river mouth, sturgeon was not recorded in the catches due to a sharp rise in the flood level. In the sample series from the catch of drift bottom gillnets, the value of the commercial length of sturgeon (*ac*) varied from 36.0 to 60.0 cm, with an average of 47.6 cm. In the sample series of set gillnets, these values were 40.0-65.0 and 52.3 cm, respectively. The modal size class for Siberian sturgeon in the catch of 2024 was 41-50 cm (59% of the total catch). The average weight of an individual was 0.6 kg. There was not any individuals that had reached the size at which fishing is permitted (> 62 cm) in drift bottom gillnets; while the proportion of commercial individuals was 7% in set gillnets. Sexually mature individuals were not noted.

**Practical value:** results will be used to assess the size and weight composition of part of the Siberian sturgeon population feeding in the middle reaches of the Lena River.

**Keywords:** Siberian sturgeon *Acipenser baerii*, the Vilyui River, size composition, distribution.

Научно-исследовательские работы по мониторингу состояния и численности сибирского осетра в бассейне реки Лена, в том числе в её притоках, проводились в соответствии с п. 282 Перечня приоритетных морских и пресноводных экспедиционных исследований ФГБНУ «ВНИРО» на 2024 г. «Оценка современного состояния и численности сибирского осетра р. Лена» подпрограммы «Оценка состояния запасов водных биологических ресурсов в поверхностных водных объектах зоны ответственности Якутского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («ЯкутскНИРО») в 2022–2026 гг.» совместно ЦИ ФГБНУ «ВНИРО» и Якутским филиалом ФГБНУ «ВНИРО» («ЯкутскНИРО»). В задачи исследований входили измерение размерно-весовых параметров осетра, определение полового состава и стадии зрелости особей в научных уловах.

Исследования выполнялись в период с 15 по 25 июня 2024 г. Отлов рыбы осуществлялся на 5 участках протяжённостью в среднем 50 км: 1 – «Верхневилюйск» – от о-ва Сата-Арыта до о-ва Быакай-Бёлёгёс; 2 – «Вилюйск» – от о-ва Нолур-Ытабыт до о-ва Хочуоннах; 3 – «Мунгхарыма» – от о-ва Батан до о-ва Керех-Арыта; 4 – «Хатырык-Хомо» – от о-ва Сэлэ до о-ва Седалищев; 5 – «Промышленный» – от о-ва Турах до устья реки Вилюй (рис. 1).

Работы выполнялись в режиме сплавов с использованием маломерного судна и с применением одно- и двустенных плавных донных сетей длиной 75 м и высотой 3 м с шагом ячей 30, 40, 60, 80 и 100 мм. Продолжительность сплавов составляла от 10 до 25 мин., что, в первую очередь, определялось опасностью зацепов или непосредственно зацепами. Глубина реки в местах сплава варьировалась от 2,5 до 7 м. В ряде случаев для контроля наличия осетровых рыб в месте лова использовались одностенные ставные

сети длиной от 60 до 130 м, высотой 1,7 м с шагом ячей 60 мм, устанавливавшиеся от уреза до глубины 3,5 м. Застой сетей составлял от 9 до 28 часов с систематической проверкой. В ходе исследований был выполнен 31 сплав, из которых 19 можно принять как статистически значимые (нерезультивные сплавы, во время которых происходили зацепы менее чем через 10 мин., не учитывались) и 6 сетепостановок с различной экспозицией по времени. На разных участках было выполнено различное количество сплавов, что определялось как погодными условиями, так и результативностью лова (табл. 1). Средняя длина сплава составляла 480 м. Общая протяжённость маршрута, на котором производилась учётная съёмка, составила около 470 км.

Биологический анализ особей осетров включал измерения общей длины тела рыбы – от вершины рыла до вертикали конца верхней лопасти хвостового плавника (абсолютную длину, *ab*), длину тела от конца рыла до проекции конца средних лучей наиболее глубокой средней части вырезки хвостового плавника (промысловую длину, *ac*) [Правдин, 1966] и массы тела. Полный биологический анализ проводился выборочно от 12 экземпляров рыб, достигших или приблизившихся к промысловой мере (62 см). Отбор проб гонад относительно крупных особей производился щупом.

В период наблюдений гидрологическая ситуация на р. Вилюй была неустойчивая: наблюдался постепенный спад весеннего половодья, сопровождавшийся подъёмом паводковой волны, вызванной таянием снега в долинах притоков Вилюя. На первом участке уровень воды оставался высоким, на втором и третьем – происходил спад уровня воды, на четвёртом участке уровень начал повышаться, а на пятом достиг

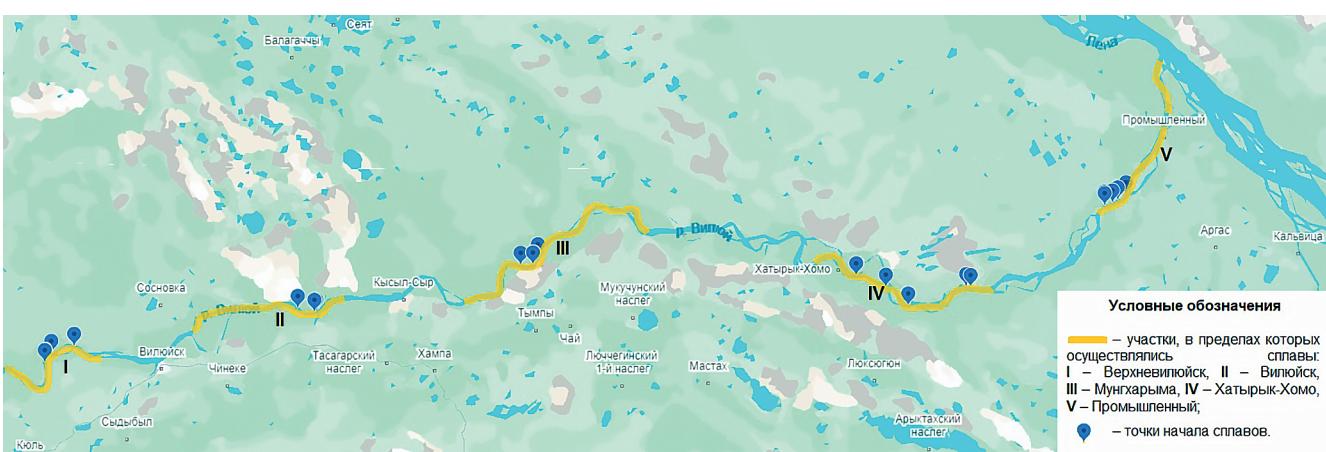


Рис. 1. Схема проведения учётной ихтиологической съёмки на р. Вилюй в июне 2024 г.

Fig. 1. Scheme of an ichthyological survey on the Vilyui River in June 2024

Таблица 1. Количество рыб, отловленных на различных участках р. Вилюй в июне 2024 г.

Table 1. Number of fish caught in different sections of the Vilyui River in June 2024

Участок	Кол-во сплавов*	Продолжительность сплавов (суммарно), мин.	Кол-во отловленных особей, экз.	Кол-во сете-постановок	Время застоя**, часов	Кол-во отловленных особей, экз.
1. Верхневилюйск	5	90	3	2	76	9
2. Вилюйск	4	55	1	0	0	0
3. Мунгхарыма	3	55	45	2	42	0
4. Хатырык-Хомо	3	45	19	2	76	19
5. Промышленный	4	50	0	0	0	0
Всего	19	295 (~5 час.)	68	6	194	28

Примечание. \* – в таблице отражены данные только по статистически значимым сплавам; \*\* – в таблице указано суммарное время для всех сетепостановок, независимо от их количества на данном участке.

максимума. Резкое повышение уровня воды рассредоточило осетровых рыб в русле реки, увеличилась скорость течения реки, и работа как плавными, так и ставными орудиями лова стала неэффективной. Температура воды в Вилюе изменялась от 15–16 °C на верхних участках (1 и 2) исследуемого района до 18,2–19 °C на нижних участках, с максимумом на предустьевом участке.

Распределение осетра в русле Вилюя неравномерное: его максимальные скопления отмечены в середине обследованного 470-километрового участка. Максимальное значение средней плотности осетра отмечено на участке 3–1307 экз./км<sup>2</sup>. На смежном с ним участке 4 ниже по течению плотность осетра также имела сравнительно высокие значения – 116 экз./км<sup>2</sup>. Ожидания встретить большое количество осетра в низовьях Вилюя не оправдались, возможно, из-за паводка; здесь улов осетра был нулевым. Средняя плотность рыбы на верхних участках составляла 28 экз./км<sup>2</sup> и 7 экз./км<sup>2</sup> соответственно на 1-м и 2-м участках. Средняя плотность осетра на всём протяжении нижнего течения р. Вилюй, включая необследованные отрезки, составляла 194 экз./км<sup>2</sup>.

Морфометрические показатели осетра на всём протяжении нижнего течения реки были примерно одинаковые. В исследуемый период промысловая длина (ac) (далее мы оперируем только промысловой длиной) осетра в уловах учётными орудиями лова варьировала от 36 до 60 см, в среднем  $47,6 \pm 6,1$  см. Диапазон длины осетра в улове в ставных сетях был примерно такой же – от 40 до 65 см, в среднем  $52,3 \pm 6,4$  см (табл. 2).

Существенного разброса значений длины тела осетра на разных участках нижнего течения Вилюя не наблюдалось. Модальным для сибирского осетра в уловах в 2024 г. являлся размерный класс 41–50 см (59%) (рис. 2). Промысловая мера сибирского осетра

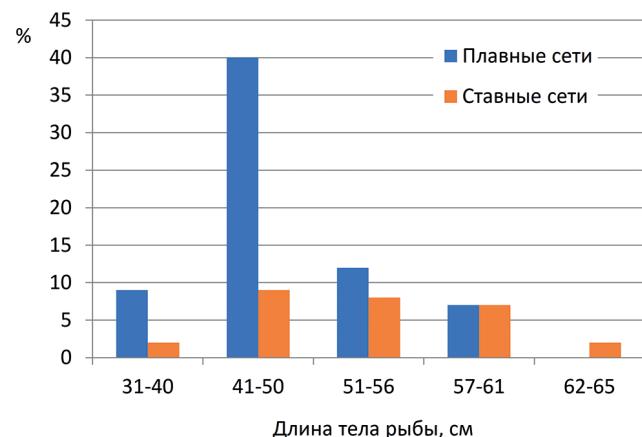


Рис. 2. Размерный состав уловов сибирского осетра в нижнем течении р. Вилюй в июне 2024 г. (диапазон значений в размерных группах изменяется с учётом замедления роста при приближении к стадии половой зрелости)

Fig. 2. Size composition of Siberian sturgeon catches in the lower reaches of the Vilyui River in June 2024 (the range of values in size groups changes taking into account the slowdown in growth as they approach the stage of sexual maturity)

в р. Лене 62 см. В улове плавными донными сетями экземпляры осетра, достигшие промысловой меры, не были встречены. В улове ставными сетями встречено два экземпляра осетра длиной тела более 62 см, их доля составила 7%.

Диапазон веса рыбы составлял от 0,20 до 1,52 кг. Средний вес рыбы составлял 0,66 кг. Более 60% рыб из суммарного улова плавных и ставных сетей были массой до 700 г (рис. 3). Вес рыб промысловой длины 63 и 65 см составлял соответственно 1,34 и 1,52 кг.

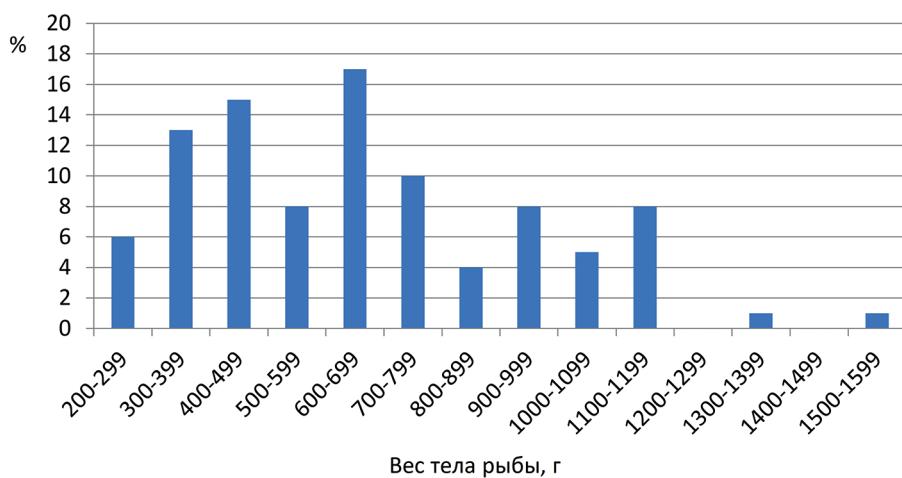
В ходе исследований не было зафиксировано ни одного половозрелого экземпляра осетра. Гонады

**Таблица 2.** Длина и вес сибирского осетра в улове плавными и ставными сетями при проведении учётной съёмки в июне 2024 г. в нижнем течении р. Вилюй

**Table 2.** Length and weight of Siberian sturgeon caught in drift bottom gillnets and set gillnets during a survey in June 2024 in the lower reaches of the Vilyui River

Вид орудий лова	Абсолютная длина ( $ab$ ), см	Промысловая длина ( $ac$ ), см	Масса, кг	Объём выборки, экз.
Плавные сети	$53,6 \pm 6,3$	$47,6 \pm 6,1$	$0,6 \pm 0,2$	68
	42,0-68,0	36,0-60,0	0,2-1,2	
Ставные сети	$58,9 \pm 6,9$	$52,3 \pm 6,4$	$0,8 \pm 0,3$	28
	45,0-72,0	40,0-65,0	0,4-1,5	

Примечание: под чертой приведены минимальное и максимальное значения признака, над чертой – среднее значение и среднее квадратическое отклонение.



**Рис. 3.** Весовой состав улова сибирского осетра в нижнем течении р. Вилюй в июне 2024 г.

**Fig. 3.** Weight composition of the Siberian sturgeon catch in the lower reaches of the Vilyui River in June 2024

всех исследованных образцов находились на стадии не старше II.

Результаты исследований будут использованы для оценки размерно-весового состава части популяции сибирского осетра, нагуливающейся в среднем течении р. Лена.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### 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. (In Russ.).

Поступила в редакцию 29.01.2025

Все применимые этические нормы соблюдены.

### Финансирование

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

УДК 597.5:576.89

## Информация. Экспедиции ВНИРО

# Исследования тихоокеанской трески при проведении ярусного лова в Беринговом море в октябре 2024 г.

А.В. Согрина, В.В. Должанская, Н.Ю. Терпугова

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

SPIN-код: А.В. Согрина – 8245-0040, В.В. Должанская – 4021-7607, Н.Ю. Терпугова – 5485-9250

**Цель:** провести мониторинг водных биоресурсов, получить биостатистические данные, определить возрастной состав уловов, определить паразитарную зараженность рыбы и гематологические показатели.

**Метод:** в ходе ярусного лова проводился сбор промысловой информации, ихтиологические и ихтиопатологические работы (гематологический и неполный гельминтологический анализ рыбы) по общепринятым методикам.

**Новизна:** получены промысловые, биологические, ихтиопатологические данные по состоянию промысловой популяции тихоокеанской трески западной части Берингова моря в осенний период 2024 г.

**Результаты:** среднесуточные уловы варьировали от 1161 до 10 255 кг (в среднем – 3998 кг). Величина уловов трески за один порядок изменилась от 99 до 4600 кг (в среднем – 822 кг). Размерный состав тихоокеанской трески в Западно-Беринговоморской зоне находился в пределах 39-102 см (в среднем – 54,3 см). Доля рыб непромыслового размера (менее 40 см) составила 0,6%. Возрастной ряд представлен особями от 2 до 7 лет. Модальную группу составили особи 3-х и 4-х лет длиной от 40 до 70 см. В результате паразитологического исследования установлена невысокая степень инвазии мускулатуры и печени трески личинками нематод *Anisakis* sp. и *Pseudoterranova decipiens*. Определены гематологические показатели, в единичных случаях отмечены патологии эритроцитов (менее 1%).

**Практическая значимость:** результаты работы могут быть использованы при разработке и корректировке материалов прогноза общего допустимого и рекомендованного вылова и рекомендаций по эффективному промыслу.

**Ключевые слова:** ярусный лов, западная часть Берингова моря, тихоокеанская треска, биологическая характеристика, возраст, ихтиопатологическое исследование.

## Studies of Pacific cod during longline fishing in the Bering Sea in October 2024

Anastasiya V. Sogrina, Veronika V. Dolzhanskaya, Nadezhda Yu. Terpugova

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

**The purpose of the work:** to monitor aquatic bioresources, obtain biostatic data, determine the age composition of catches, determine the parasitic infestation of fish and hematological parameters.

**Methods used:** During longline fishing, fishing information was collected, ichthyological and ichthyopathological work (hematological and partial helminthological analysis of fish) was carried out using generally accepted methods.

**Novelty:** commercial, biological, and ichthyopathological data were obtained on the state of the commercial population of Pacific cod in the western Bering Sea in the autumn of 2024.

**Results:** Average daily catches varied from 1161 kg to 10255 kg (average 3998 kg). The size of cod catches in one order varied from 99 kg to 4600 kg (average 822 kg). The size composition of Pacific cod in the West Bering Sea zone was within 39-102 cm (average 54.3 cm). The share of non-commercial size fish (less than 40 cm) was 0.6%. The age range is represented by individuals from 2 to 7 years. The modal group consisted of individuals 3 and 4 years old with a length of 40 to 70 cm. As a result of parasitological research, a low degree of invasion of the muscles and liver of cod by larvae of nematodes *Anisakis* sp. and *Pseudoterranova decipiens* was established. Hematological parameters were determined; in isolated cases, erythrocyte pathologies were noted (less than 1%).

**Practical significance:** the results of the work can be used in the development and adjustment of materials for forecasting the total allowable and recommended catch and recommendations for effective fishing.

**Keywords:** longline fishing, western Bering Sea, Pacific cod, biological characteristics, age, ichthyopathological study.

Научные исследования выполнялись в соответствии с государственным заданием от 29.02.2024 № 076-00001-24-01 на 2024 год и на плановый период 2025 и 2026 годов; перечнем приоритетных морских и пресноводных экспедиционных исследований ФГБНУ «ВНИРО» на 2024 г. п. 14; Соглашением о сотрудничестве № 1 от 20.08.2024 г. (сотрудничество ФГБНУ «ВНИРО» и АО «ЯМСы» на безвозмездной основе в области научной и научно-технической деятельности при проведении исследований водных биологических ресурсов). Работы проводились на борту среднего ярусолова морозильного немецкой постройки СЯМ «Калам», принадлежащего предприятию АО «ЯМСы» (г. Петропавловск-Камчатский), в период с 01 октября по 12 ноября 2024 г. в районе шельфа западной части Берингова моря (рис. 1) на глубинах от 34 до 105 м (в среднем – 61,6 м). В районе северо-восточного побережья Камчатки в акватории бухты Глубокая 30 октября 2024 г. СЯМ «Калам» сел на мель, в связи с этим происшествием сроки экспедиции были значительно сокращены.

При проведении специализированного лова на СЯМ «Калам» использовали ярусно-крючковую линию «Автолайн» фирмы «Мустад» Норвегия (код 52), которая была оснащена кассетной системой укладки и хранения яруса без отсоединения поводцов с крючками от хребтины. Ярусные постановки выполнялись круглосуточно от 3 до 7 (в среднем – 5), продолжительность которых составила в среднем 6 часов 09 минут. Скорость постановки яруса варьировалась от 3,5 до 5,5 узлов, всего выполнено 80 промыслов-

ых операций в координатах 60°22'7-61°36'9 с. ш. и 170°58'1-174°09'5 в. д. При выборке ярусных порядков отмечены 8 видов рыб (*Gadus chalcogrammus*, *G. macrocephalus*, *Hippoglossus stenolepis*, *Lepidopsetta bilineata*, *Limanda aspera*, *Hemilepidotus gilberti*, *H. jordani*) и 3 вида беспозвоночных (*Paralithodes platypus*, *Strongylocentrotus* sp., *Buccinum glaciale*). Основным объектом добычи была тихоокеанская треска, прилов отсекался при выборке. Величина уловов трески за один порядок изменялась от 99 до 4600 кг, в среднем составляя 822 кг. Улов каждого порядка уточняли по выходу готовой продукции. Среднесуточные уловы варьировали от 1161 кг до 10255 кг (в среднем – 3998 кг). Массовому промеру без вскрытия подвергнуто 2049 экз. трески, полному биологическому анализу – 164 экз., на паразитологический и гематологический анализ отобрали пробы от 13 особей. Сбор материала и его обработка осуществлялись согласно общепринятым методикам [Правдин, 1966; Быховская-Павловская, 1985; Определитель паразитов..., 1987; Конькова и др., 2023; МУК 3.2.3804-22<sup>1</sup>].

Размерный состав тихоокеанской трески в Западно-Берингоморской зоне находился в пределах 39-102 см, средняя длина составила 54,3 см. Доля рыб непромыслового размера (менее 40 см) составила 0,6%. Длина самок изменялась от 39 до 80 см, составляя в среднем 56,9 см. Доминировали самки размерной группы 51-55 см. Длина самцов составила 40-86 см, в среднем 55,6 см, с доминированием группы 56-60 см. По результатам массовых промеров без вскрытия длина рыб варьировала в пределах 40-102 см (в среднем – 54,3 см), по данным биологического анализа (n=164), длина составляла 39-86 см (в среднем – 56,3 см), модальная группа представлена особями от 50 до 59 см (рис. 2).

Масса тихоокеанской трески варьировала от 650 до 7620 г, составив в среднем 2208 г. Масса самок находилась в пределах 650-6660 г (в среднем – 2306,7 г), масса самцов варьировала 700-7620 г (в среднем – 2105,4 г). Модальная группа самок находилась в пределах 1500-1600 г, самцов – 1500 г. Масса самок трески без внутренностей составила 550-5660 г (в среднем – 1980,3 г), самцов – 620-5420 г (в среднем – 1731,5 г).

Самки встречались в 50,9% случаях, а самцы – в 49,1%. Большинство самок трески (33,7%) имели гонады VI-II стадии зрелости, 15,9% самок находились на VI-III стадии зрелости гонад, неполовозрелые сам-

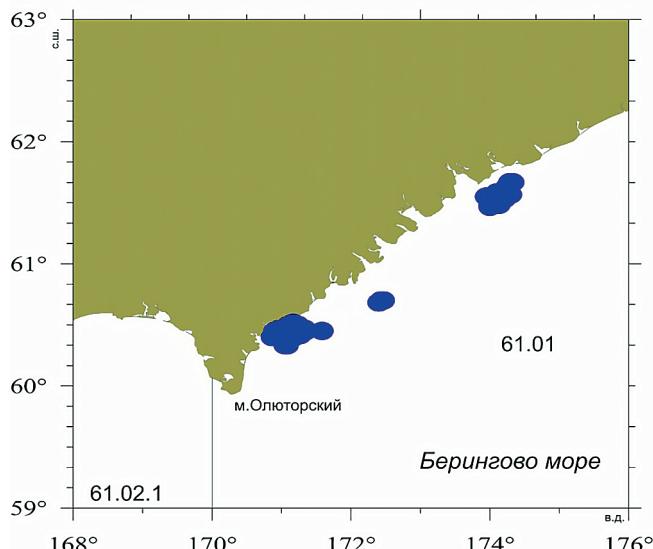
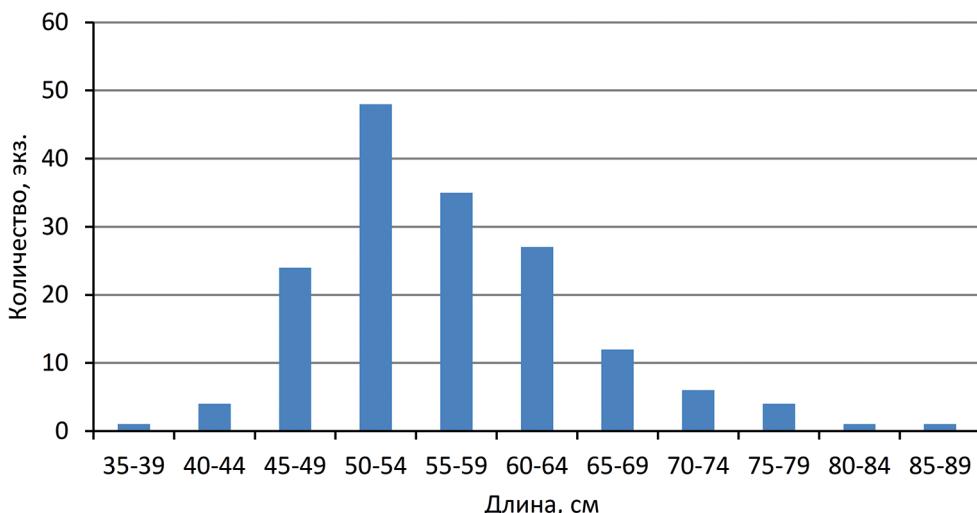


Рис. 1. Схема ярусопостановок СЯМ «Калам» в Западно-Берингоморской зоне (61.01) в октябре 2024 г.

Fig. 1. Scheme of longline installations tiered «Kalam» in the West Bering Sea zone (61.01) in October 2024

<sup>1</sup> МУК 3.2.3804-22 «Методы санитарно-паразитологической экспертизы рыбы, моллюсков, ракообразных, земноводных, пресмыкающихся и продуктов их переработки». Утверждены: от 02.12.2022 (2023) <https://normacs.net/Doclist/doc/2387C.html> 27.01.2024.



**Рис. 2.** Размерный состав тихоокеанской трески при ярусном лове в октябре 2024 г. по данным биологического анализа (n=164)

**Fig. 2.** Size composition of Pacific cod in longline fishing in October 2024 based on biological analysis data (n=164)

ки составили 1,2%. Большинство самцов (28,2%) имели III стадию зрелости гонад, 20,9% самцов – II стадию. Не зарегистрированы особи ювенильной стадии развития, также в период исследований не выявлены рыбы с патологиями репродуктивной системы.

Масса гонад самок варьировала в диапазоне 10-260 г (в среднем – 51 г). Масса гонад самцов находилась в пределах 5-1100 г (в среднем – 133,5 г). Гонадосоматический индекс (ГСИ) у самок II стадии зрелости составил 0,95-1,54 (в среднем – 1,24), у самок VI-II варьировал от 0,65 до 3,09 (в среднем – 1,41), ГСИ самок VI-III стадии зрелости составил 1,34-6,45 (в среднем – 3,05). ГСИ самцов II стадии зрелости гонад находился в пределах 0,42-1,61 (0,79), самцов III стадии зрелости – 1,75-14,44 (8,24).

Масса печени трески в октябре-ноябре варьировала в диапазоне 10-620 г (в среднем – 119,5 г), масса печени самок находилась в пределах 20-620 г (в среднем – 130,6 г), самцов – 10-500 г (в среднем – 109,3 г). Гепатосоматический индекс (ГПСИ) самок II стадии зрелости гонад составил 4,21-3,64 (в среднем – 3,92), самок VI-II – 1,41-8,54 (в среднем – 4,71), а самок VI-III 1,67-16 (в среднем – 8,55). ГПСИ самцов II стадии зрелости гонад был 1,19-17,78 (в среднем – 4,9), самцов III – 2,44-12,07 (в среднем – 6,67).

На возраст исследовано 163 экз. трески в соответствии с общепринятыми методиками [Чугунова, 1959]. Отолит разламывали в поперечном сечении через ядро. Поверхность слома обжигали в пламени спиртовки для более чёткого проявления гиалиновых зон и смачивали маслом. Определения проводились с помощью стереомикроскопа Olympus SZX12 с ис-

пользованием системы анализа изображений Cell. Возрастной ряд представлен особями от 2 до 7 лет. В исследуемой выборке модальную группу составили рыбы 3-х и 4-х лет, с диапазоном длины от 40 до 70 см. Анализ одновозрастных самцов и самок показал, что различия по длине в большинстве возрастных групп несущественны. Размерно-возрастные показатели тихоокеанской трески представлены в табл. 1.

По результатам ихтиопатологического исследования установлена невысокая доля рыб (1,2%) с патологиями органов и тканей (единичные экземпляры с асцитом и спаечным процессом в брюшной полости). Гельминтологическое исследование показало заражение рыбы личинками паразитов, относящихся к нематодам (*Anisakis* sp., *Pseudoterranova decipiens*) и цестодам (*Nybelinia* sp.). Степень инвазии мускулатуры и печени трески личинками нематод была невысокой, экстенсивность инвазии (ЭИ) не превышала 7,6%, интенсивность инвазии (ИИ) варьировала в диапазоне от 1 до 4 экз. личинок на рыбу, индекс обилия (ИО) находился в пределах 0,07-03 экз. Количественные показатели зараженности паразитами мускулатуры и полости тела рыб представлены в табл. 2.

Гематологический анализ показал преобладание зрелых форм эритроцитов 99,1±0,2%. В единичных случаях наблюдали эритроциты с патологиями (смещение ядра к периферии клетки, микроядра, инвагинация ядра, амитоз, агглютинация и образование ядерных теней). Встречаемость таких клеток в крови тихоокеанской трески составляла менее 1,0%. Гематологические показатели представлены в табл. 3.

**Таблица 1.** Размерно-возрастные характеристики тихоокеанской трески в западной части Берингова моря в октябре 2024 г.**Table 1.** Size and age characteristics of Pacific cod in the western Bering Sea in October 2024

Возраст	Самцы			Самки			Всего		
	n	Длина, см		n	Длина, см		n	Длина, см	
		M±m	Lim		M±m	Lim		M±m	Lim
2				1	39	39	1	39	39
3	36	50,25±0,644	40-57	27	49,74±0,686	42-55	63	50,03±0,472	40-57
4	27	56,37±0,627	50-62	32	56,34±0,870	49-70	59	56,36±0,552	49-70
5	14	63,71±0,772	58-70	16	63,75±0,732	59-70	30	63,73±0,531	58-70
6	2	71±1,414	69-73	3	74,67±2,126	70-79	5	73,2±1,610	69-79
7				4	75,25±1,781	70-80	4	75,25±1,781	70-80
8	1	86	86				1	86	86
Итог	80			83			163		

**Таблица 2.** Показатели зараженности тихоокеанской трески в Западно-Берингоморской зоне в октябре 2024 г.**Table 2.** Infection rates of Pacific cod in the West Bering Sea zone in October 2024

Вид и локализация паразита	Количественные показатели паразитарных инвазий			
	ЭИ, %	ИИ*, экз.	ИО, экз.	min-макс. ИИ, экз.
<i>Anisakis</i> sp., мышцы.	7,6	4,0	0,3	0-4
<i>Anisakis</i> sp., полость тела	38,4	7,6	2,9	3-14
<i>Anisakis</i> sp., печень	7,6	1,0	0,07	0-1
<i>P. decipiens</i> , мышцы	7,6	1,0	0,07	0-1
<i>P. decipiens</i> , печень.	7,6	1,0	0,07	0-1
<i>P. decipiens</i> , полость тела	7,6	1,0	0,07	0-1
<i>Nybelinia</i> sp., полость тела	15,3	1,0	0,15	0-1

Примечание: \* – средняя интенсивность инвазии.

**Таблица 3.** Гематологические показатели тихоокеанской трески западной части Берингова моря в октябре 2024 г.**Table 3.** Hematological parameters of Pacific cod in the western Bering Sea in October 2024

Показатель	Результат
Зрелые эритроциты, %	99,1±0,2
Молодые формы эритроцитов, %	0,9±0,2
Лимфоциты, %	79,2±2,4
Бластные формы, %	16,5*±8,4
Палочкоядерные нейтрофилы, %	2,3±0,7
Сегментоядерные нейтрофилы, %	3,1±0,7
Моноциты %	7,1*±3,4
Общее число лейкоцитов, %	11,3±1,1
Общее число тромбоцитов, %	1,1±0,2

Примечание: X ± Sx; n=9; p<0,05; \* – p<0,001.

Анализ лейкограммы показал, что лимфоциты в среднем составляли 79,2±2,4%, нейтрофилы (палочкоядерные и сегментоядерные) не превышали 5,4%, моноциты – 7,1%. Среднее значение общего числа лейкоцитов (на 1000 эритроцитов) составило 11,3±1,1%, Тромбоциты составляли в среднем 1,1±0,2% от общего числа клеток красной крови.

Морфометрические характеристики эритроцитов тихоокеанской трески характеризуются следующими значениями: большой диаметр – 10,1±0,2 мкм, малый диаметр – 7,0±0,2 мкм, размеры ядра эритроцита составляют 4,1±0,1 мкм и 3,11±0,1 мкм соответственно. Объем клетки в среднем был 125,65±4,53 мкм, объем ядра – 21,23±4,53 мкм.

В период проведения работ *G. macrocephalus* питалась слабо, средний балл наполнения желудков самок и самцов составил 1,53. Основу питания тихоокеанской трески составили: рыба, креветки, молодь кальмаров, гаммарусы, сипункулиды, эуфаузииды, молодь

краба, икра, отходы с камбуза. Зачастую в пищевом комке отмечали наличие камней.

Материалы экспедиционных исследований служат дополнением к результатам многолетних исследований ФГБНУ «ВНИРО» и могут быть использованы для оценки состояния запасов при разработке и корректировке материалов прогноза общего допустимого и рекомендованного вылова и рекомендаций по эффективному промыслу.

### **Благодарности**

Авторы благодарят за помощь и содействие при проведении исследований и сборе материала руководство АО «ЯМСы» и экипаж судна СЯМ «Калам».

### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### **Соблюдение этических норм**

Все применимые этические нормы соблюдены.

### **Финансирование**

Исследования проведены в рамках выполнения государственного задания ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО».

### **ЛИТЕРАТУРА**

Быховская-Павловская И.Е. 1985. Паразиты рыб. Руководство по изучению. Л.: Наука. 121 с.

Конькова А.В., Ширина Ю.М., Файзулина Д.Р., Богатов И.А. 2023. Комплексное изучение патологий рыб и десятино-гих раков (методология, инструментарий, практические рекомендации). Астрахань: ИП Сорокин Роман Васильевич. 136 с.

Определитель паразитов пресноводных рыб фауны СССР. 1987. Т. III. Паразитические многоклеточные / О.Н. Бауэр ред. Л.: Наука. 583 с.

Правдин И.Ф. 1966. Руководство по изучению рыб. М.: Пищ. пром-ть, 376 с.

Чугунова Н.И. 1959. Руководство по изучению возраста и роста рыб. М.: Изд. АН СССР, 163 с.

### **REFERENCES**

Bykhovskaya-Pavlovskaya I.E. 1985. Fish parasites. Study guide. Leningrad: Nauka. 121 p. (In Russ.).

Konkova A.V., Shirina Yu.M., Fayzulina D.R., Bogatov I.A. 2023. Comprehensive study of fish and decapod pathologies (methodology, tools, practical recommendations). Astrakhan: IE Roman Vasilyevich Sorokin. 136 p. (In Russ.).

Identifier of parasites of freshwater fishes of the USSR fauna. 1987. V. III. Parasitic multicellular. / O.N. Bauer ed. Leningrad: Nauka. 583 p. (In Russ.).

Pravdin I.F. 1966. Guide to the Study of Fish. Moscow: Food Industry. 376 p. (In Russ.).

Chugunova N.I. 1959. Guide to the Study of Age and Growth of Fish. Moscow: Publishing House of the AS USSR. 163 p. (In Russ.).

Поступила в редакцию 28.01.2024 г.

УДК 639.2.052:639.2.081(262.54)

## Информация. Экспедиции ВНИРО

# Исследование основных промысловых видов рыб в Азовском море при проведении учётной траловой съёмки в октябре-ноябре 2024 г.

О.С. Гуськова<sup>1</sup>, В.А. Ульченко<sup>2</sup>, У.Н. Александрова<sup>1</sup>, Т.И. Подмарёва<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Азово-Черноморский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), Береговая, 21в, Ростов-на-Дону, 344002

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

E-mail: ulchenko@vniro.ru

SPIN-код: О.С. Гуськова – 7384-4637, В.А. Ульченко – 5926-8699, У.Н. Александрова – 1404-6623, Т.И. Подмарёва – 9387-0334.

**Цель:** количественный учёт и сбор материала по качественной характеристике промысловых видов рыб и мониторинг среды обитания водных биологических ресурсов Азовского моря в осенний период 2024 г.

**Метод:** в ходе выполнения учётной траловой съёмки сбор и первичная обработка материалов выполнялись в соответствии с общепринятыми методиками.

**Новизна:** собраны материалы по биологическому состоянию рыб, качественному и количественному составу скоплений, выявлены закономерности в пространственном и сезонном распределении основных промысловых видов рыб Азовского моря.

**Результаты:** среднее значение температуры воды в Азовском море составило 10,8 °C, в Таганрогском заливе – 6,5 °C. Средневзвешенная солёность Азовского моря составила 15,22‰, Таганрогского залива – 11,67‰. Первое место в траловых уловах занимала тюлька (26,3%), второе – хамса (25,4%), третье – русский осётр (20,3%). Тюлька и хамса концентрировались преимущественно в центральной части Азовского моря и Таганрогском заливе, наибольшие уловы составили 100 и 55 кг/час траления соответственно. Скопления русского осетра наблюдались в западной части моря у берегов Крыма и в северной части моря в районе косы Бирючий Остров, наибольший вылов составил 102 кг/час траления. Камбала-калкан в основном вылавливалась в северо-западной и центральной частях Азовского моря, максимальный улов составил 16 кг/час траления. Сельдь черноморско-азовская проходная в основном встречалась в северо-западной, юго-западной, центральной частях Азовского моря и в предпроливье, максимальный вылов – 6 кг/час траления.

**Практическая значимость:** результаты работ будут использованы для уточнения и разработок прогнозов рекомендованного объёма добычи (вылова) водных биологических ресурсов и рекомендаций по эффективному промыслу.

**Ключевые слова:** тюлька, хамса, осётр русский, пространственное распределение, биологические характеристики.

## The research of the main commercial fish species in the Sea of Azov during the accounting trawl survey in October-November 2024

Olga S. Guskova<sup>1</sup>, Vasily A. Ul'chenko<sup>2</sup>, Ulyana N. Aleksandrova<sup>1</sup>, Tatyana I. Podmareva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Azov-Black Sea branch of VNIRO («АзНИИРХ»), 21 в, Beregovaya st., Rostov-on-Don, 344002, Russia

<sup>2</sup> Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («ВНИРО»), 19, Okruzhnoy proezd, Moscow, 105187, Russia

**The aim:** quantitative account and collect material on the qualitative characteristics of commercial fish species and monitor the habitat of aquatic biological resources of the Sea of Azov in the autumn period of 2024.

**Methods:** during the execution of trawl survey, the collection and primary processing of materials were carried out in accordance with generally accepted methods.

**Innovations:** materials on the biological state of fish, qualitative and quantitative composition of aggregations have been collected, identified patterns in the spatial and seasonal distribution of the main commercial fish species of the Sea of Azov.

**Results:** the average water temperature in the Sea of Azov was 10,8 °C, in the Taganrog Bay – 6,5 °C. The average weighting salt's concentration of the Sea of Azov was 15,22‰, and that of the Taganrog Bay was 11,67‰. The first place in catches was occupied by the Black and Caspian Sea sprat (26,3%), the second by the European anchovy (25,4%), and the third by the Danube sturgeon (20,3%). Black and Caspian Sea sprat and European anchovy were concentrated mainly in the central part of the Sea of Azov and the Taganrog Bay, with the largest catches amounting to 100 and 55 kg/hour of trawling. Concentration of Danube sturgeon was observed in the western part of the sea off the coast of Crimea and in the northern part of the sea in the area of Byriuchyi Island. The largest catch was 102 kg/hour of trawling. Concentration of Black Sea turbot were mainly recorded in the northwestern and central parts of the Sea of Azov, with the largest catch being 16 kg/

hour of trawling. The Pontic shad was mainly found in the northwestern, southwestern, and central parts of the Sea of Azov and in the pre-strait, with a maximum catch of 6 kg/hour of trawling.

**The practical significance:** the results of the work will be used to refine and develop forecasts of the recommended volume of extraction (catch) of aquatic biological resources and recommendations for effective fishing.

**Keywords:** Black and Caspian Sea sprat, European anchovy, Russian sturgeon, spatial distribution, biological characteristics.

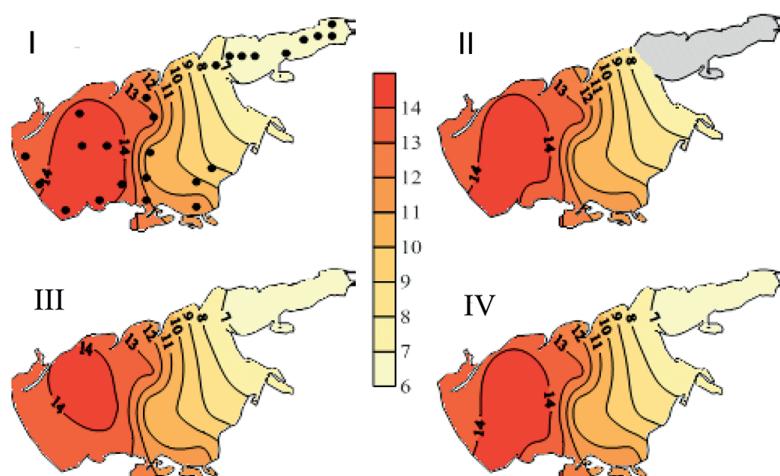
Научно-исследовательские работы выполнялись в соответствии с Программой ФГБНУ «ВНИРО»: «Выполнение работ при осуществлении рыболовства в научно-исследовательских и контрольных целях во внутренних морских водах Российской Федерации, территориальном море Российской Федерации, на континентальном шельфе Российской Федерации, в исключительной экономической зоне Российской Федерации, в Азовском и Каспийском морях в 2022-2026 гг.», планом ресурсных исследований и государственного мониторинга водных биоресурсов на 2024 год, пункта 164 Перечня приоритетных морских и пресноводных экспедиционных исследований ФГБНУ «ВНИРО» на 2024 г. Исследования проводились в период с 25 октября по 24 ноября 2024 г. на борту арендованных промысловых судов ПТР «Туран» и СЧС «Капитан Горбенко». В ходе рейса было выполнено 53 учётных траления в Азовском море и Таганрогском заливе по стандартной сетке станций. Комплексные исследования были проведены на 25 станциях. Отобраны пробы воды для определения солёности, гидрохимических параметров, загрязнения воды и донных отложений. Измерены температура воды и воздуха, прозрачность и цвет воды, скорость и направление

течений. Диапазон изучаемых глубин составил от 3,5 до 11,5 м.

В качестве учётного орудия добычи (вылова) водных биоресурсов был использован донный трал с размером по верхней подборе 25 м, нижней подборе – 29 м, ячейкой в кутке 6,5 мм. Горизонтальное раскрытие трала составляло в среднем – 18 м, вертикальное – 4,5 м, продолжительность траления – 30 минут. Сбор и первичная обработка материалов выполнялись в соответствии с методикой, принятой в Азово-Черноморском филиале ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»: «Методы рыбохозяйственных и природоохранных исследований в Азово-Черноморском бассейне» [Правдин, 1966; Методические рекомендации..., 2019; Методы рыбохозяйственных ..., 2005; Наставление для наблюдателей, 2006].

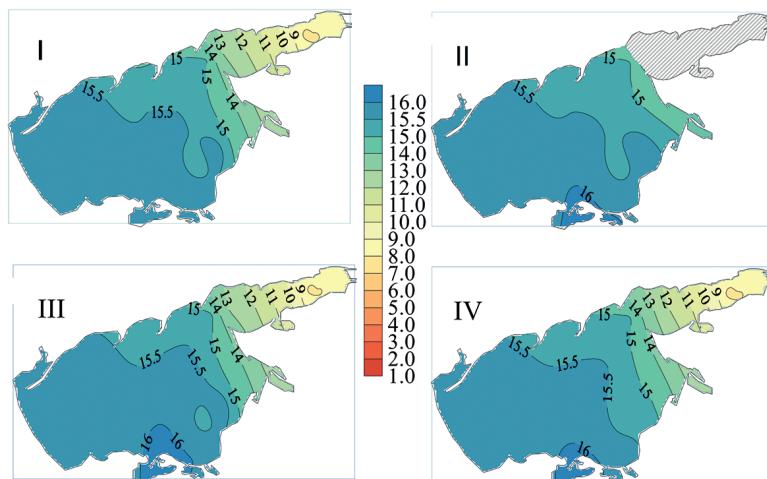
Поверхностная температура воды Азовского моря менялась в пределах от 6,0 °C (на востоке Таганрогского залива) до 15,2 °C – в западной части моря (рис. 1). Среднее значение температуры воды в море составило 10,8 °C.

Средневзвешенная солёность Азовского моря составила 15,22‰, Таганрогского залива – 11,67‰. На каждом из горизонтов в Азовском море солёность



**Рис. 1.** Пространственное распределение температуры воды в Азовском море в октябре-ноябре 2024 г. (°C)  
(I – поверхность, II – 5 метров, III – дно, IV – средняя, ● – сеть гидрологических станций)

**Fig. 1.** The spatial distribution of the water temperature in the Sea of Azov in the period of October-November 2024 (°C)  
(I – surface, II – 5 meters, III – bottom, IV – the average, ● – network of hydrological stations)



**Рис. 2.** Пространственное распределение солёности Азовского моря в октябре-ноябре 2024 г. (%)  
(I – поверхность, II – 5 метров, III – дно, IV – средняя)

**Fig. 2.** The spatial distribution of the salt's concentration of the Sea of Azov in the period of October-November 2024 (%)  
(I – surface, II – 5 meters, III – bottom, IV – the average)

в большинстве случаев превышала 15,5 %, а на юге моря, как следствие проникновения трансформированных черноморских вод, отмечалась зона вод, оконтуриенная изогалиной 16,0 % (рис. 2).

Видовой состав уловов был представлен 23-мя видами рыб и 5-ю видами промысловых беспозвоночных.

Тюлька *Clupeonella cultriventris* (Nordmann, 1840) достигала 26,3 % от общего вылова. В период проведения исследований наибольшие скопления тюльки отмечались в центральной части Азовского моря и Таганрогском заливе (рис. 3). Вылов тюльки менялся от 0,2 до 50 кг за траление, встречаемость в тралени-

ях составила 54 %. Длина рыб варьировала от 49 до 77 мм, масса – от 1,2 до 5,1 г. Средняя длина тюльки составила 63 мм, средний вес – 3,0 г. В уловах преобладали особи длиной 46–55 мм (30 %) и 66–75 мм (42 %). Размерно-массовые показатели тюльки по возрастным группам представлены в табл. 1.

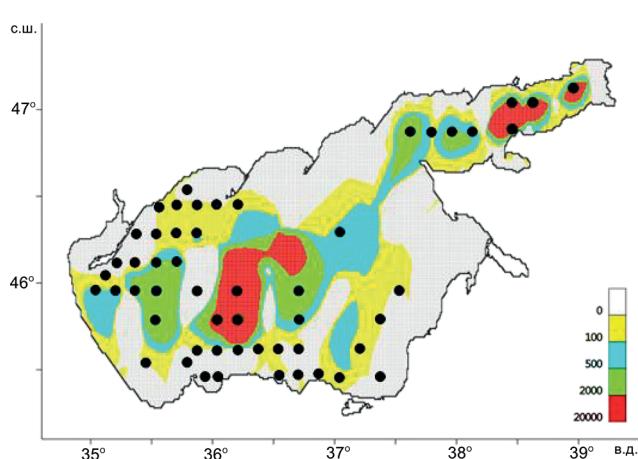
**Таблица 1.** Размерно-массовые показатели тюльки всех возрастных групп в октябре-ноябре 2024 г.

**Table 1.** Mass and size parameters of Black and Caspian Sea sprat of every age group in the period of October-November 2024

Средняя длина AD, мм				Средняя масса, г			
0+	1+	2+	3+	0+	1+	2+	3+
49	61	71	77	1,2	2,1	3,7	5,1

В соотношении полов доля самок составила 64 %, самцов – 25 %, ювенальных особей – 11 %. Все исследуемые особи тюльки были неполовозрелыми. Питание рыб характеризовалось, как удовлетворительное, средний балл наполнения желудка (СБНЖ) составил 1,8 балла. Жирность сеголеток тюльки в Таганрогском заливе составила 3,9 %, в Азовском море – на уровне 7,8–7,9 %. Количество жировых запасов у старшевозрастных групп в Таганрогском заливе изменилось в пределах 5,0–15,3 %, составляя в среднем 12,2 %, в Азовском море их жирность составила в среднем 13,3 %.

Хамса *Engraulis encrasicholus* (L., 1758) – 25,4 % вылова. Распределение хамсы было неравномерным и мозаичным. Наибольшие уловы отмечались в западном и центральном районах моря, а также в цен-



**Рис. 3.** Распределение тюльки в Азовском море в октябре-ноябре 2024 г. (кг/км<sup>2</sup>) (● – сетка станций контрольных тралений)

**Fig. 3.** The distribution of Black and Caspian Sea sprat in the Sea of Azov in the period of October-November 2024 (kg/km<sup>2</sup>)  
(● – the total trawling network)

тральной части Таганрогского залива (рис. 4). В связи с низкой интенсивностью выхолаживания воды в Азовском море в октябре-ноябре 2024 г., промысловых скоплений хамсы в районах проведения НИР не наблюдалось.

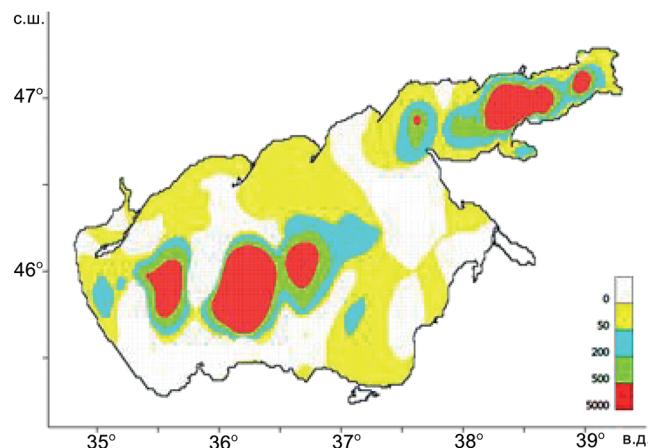


Рис. 4. Распределение хамсы в Азовском море в октябре-ноябре 2024 г. (кг/км<sup>2</sup>)

Fig. 4. The distribution of European anchovy in the Sea of Azov in the period of October-November 2024 (kg/km<sup>2</sup>)

Вылов хамсы варьировал от 0,02 до 28 кг за траление, встречаемость в тралениях составила 32 %. В большей части уловов хамса присутствовала в небольших количествах: от нескольких экземпляров до 100-200 г за траление. Длина рыб менялась от 62 до 120 мм, преобладали особи размерами 91-110 мм (70,7 %) (табл. 2). Масса хамсы изменялась от 2,0 до 11,0 г. Средняя длина рыб составила 90,7 мм, средний вес – 7,2 г

В соотношении полов доля самок составила 52 %, самцов – 30 %, ювенальных рыб – 18 %. Все исследуемые особи имели II стадию зрелости гонад. Состояние кормовой базы для всех возрастных групп хамсы оценивалось как удовлетворительное, СБНЖ составил 2,3 балла.

Осётр русский *Acipenser gueldenstaedtii* (Brandt & Ratzeburg, 1833) отмечался преимущественно в уловах в западной части моря у берегов Крыма в районе мыса Казантип и Арабатского залива, в северной части моря в районе косы Бирючий Остров и Обиточного залива (рис. 5). В ходе выполнения работ было выловлено 25 экз. русского осетра (20,3 % вылова), общий вес рыб составил 102 кг.

Таблица 2. Размерно-массовая структура хамсы в октябре-ноябре 2024 г.

Table 2. Mass and size parameters of European anchovy in the period of October-November 2024

Показатели	Размерные группы, мм											
	60-65	66-70	71-75	76-80	81-85	86-90	91-95	96-100	101-105	106-110	111-115	116-120
Численность, %	1,3	2,5	5,2	2,3	2,6	7,1	19,7	24,4	14,4	12,2	5,8	2,5
Средняя масса, г	2,6	2,8	3,1	3,7	4,0	4,9	5,5	6,9	7,4	9,7	11,0	13,1

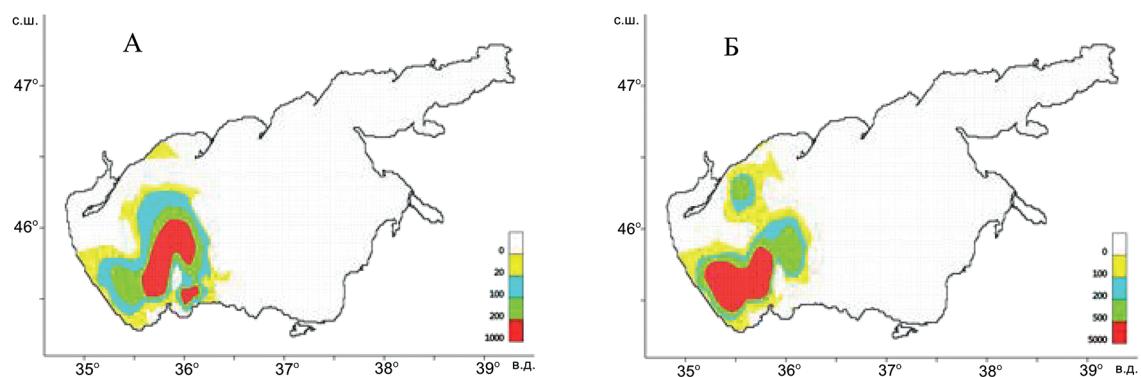


Рис. 5. Распределение осетра русского в Азовском море в октябре-ноябре 2024 г. (А – размер AD<90 см, Б – размер AD>90 см) (экз./км<sup>2</sup>)

Fig. 5. The distribution of Danube sturgeon in the Sea of Azov in the period of October-November 2024 (A – size AD< 90 cm, B – size AD>90 cm) (inst./km<sup>2</sup>)

Уловы русского осетра варьировали от 0,3 до 51 кг за траление, составляя в среднем 3,9 кг за траление, встречаемость в тралениях составила 17%. Длина рыб (AC) менялась от 10 до 131 см, составляя в среднем 66,5 см. Преимущественно в уловах встречались особи размерной группы 61-80 см – до 32%. Доля рыб длиной более 100 см составила 12%. Весовые характеристики изменялись от 0,25 кг до 24,3 кг, составляя в среднем 4,9 кг.

Камбала-калкан (азовская) *Scophthalmus maeoticus* (Pallas, 1814). Наибольшие скопления камбалы-калкан были отмечены в северо-западной и центральной частях Азовского моря (рис. 6, 9,5% вылова), встречаемость в тралениях составила 58%. Величина уловов варьировала от 70 г до 8 кг за траление, составляя в среднем 1,6 кг за траление.

Размерные характеристики рыб менялись в широком диапазоне – от 8 до 37 см. Средняя длина составила 23,1 см, при этом в уловах отмечались две модальные группы 17 и 25 см. Доля крупных экземпляров длиной более 30 см составила 22% от общего количества, встречаемость особей непромысловых размеров (менее 22 см) составила 39%. Особи непромысловой длины имели массу от 0,03 кг до 0,195 кг, при средней 0,13 кг. Весовые характеристики камбалы промысловых размеров менялись от 0,23 до 1,45 кг, составляя в среднем 0,64 кг. Основу уловов составили шесть возрастных групп с преобладанием пяти- и шестилетних особей – 26% и 28% по численности соответственно, доля сеголеток составила 4%. Коэффициент упитанности по Фультону варьировал от 2,0 до 2,5 – у младшевозрастных групп, и от 1,7 до 3,0 – у старшевозрастных, составляя в среднем 2,6, что близко к среднемноголетним значениям. В соотношении полов самки несколько преобладали над

самцами: доля самок составила 60%, самцов – 34%, ювенальных особей – 6%. В уловах в основном встречались неполовозрелые и созревающие особи. Среди самок первое место занимали неполовозрелые особи на II стадии зрелости – 75%, на втором месте были созревающие самки – 14%. Среди самцов подавляющее большинство имели III стадию зрелости – до 88%, остальные самцы были неполовозрелыми. Питание камбалы было на среднем уровне, СБНЖ составил 1,6 балла. В рационе питания преимущественно встречались бычки – 26%, хамса – 19%, тюлька – 13%, атерина – 8%, креветки – 15% и краб – 2%.

Из бычков (8% общего вылова) преобладающим был бычок-кругляк *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814). Основные скопления бычка-кругляка наблюдались в северо-западной и западной частях Азовского моря, в районе Арабатской стрелки (рис. 7), максимальные уловы не превышали 3 кг за траление.

Размеры бычка-кругляка менялись от 51 до 146 мм, при средней длине 101 мм, модальную группу составляли особи длиной от 80 до 110 мм. Средняя масса рыб непромысловой длины (менее 10 см) составила 13,9 г, промысловой длины – 32,0 г, общий средний вес бычка-кругляка составил 21,5 г. Средняя длина самок была 95 мм, масса – 17,5 г. Средние размерно-весовые показатели самцов – 109 мм и 25,3 г соответственно. Самцы несколько преобладали над самками, составляя 55%. В тралениях доминировали двухлетние особи – до 61,2%, сеголеток было учтено 15%. До 87% исследуемых рыб имели III стадию зрелости гонад. Питание характеризовалось, как выше среднего, СБНЖ составил 2 балла.

Сельдь черноморско-азовская проходная *Alosa immaculata* (Bennett, 1835). На акватории Азовского моря была распределена неравномерно. В основном

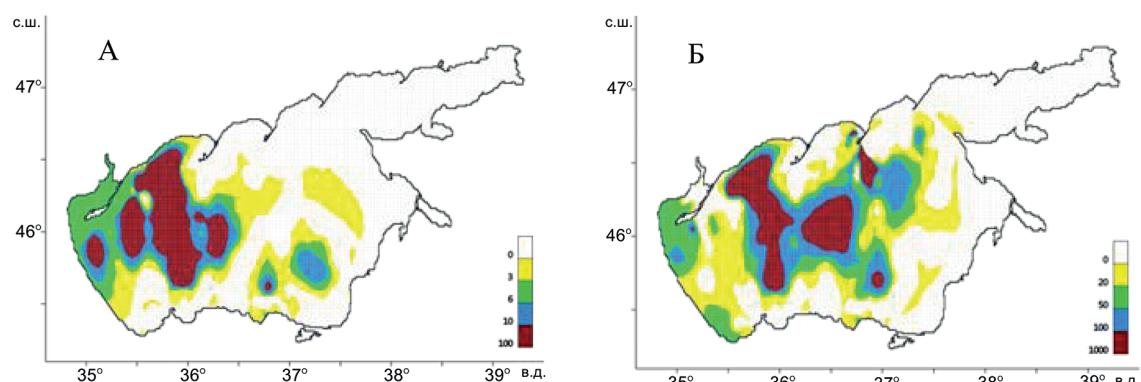


Рис. 6. Распределение камбалы-калкан (А – непромысловых размеров, Б – промысловых размеров) в Азовском море в октябре-ноябре 2024 г. (кг/км<sup>2</sup>)

Fig. 6. The distribution of Black Sea turbot (A – non-commercial size, B – commercial size) in the Sea of Azov in the period of October-November 2024 (kg/km<sup>2</sup>)

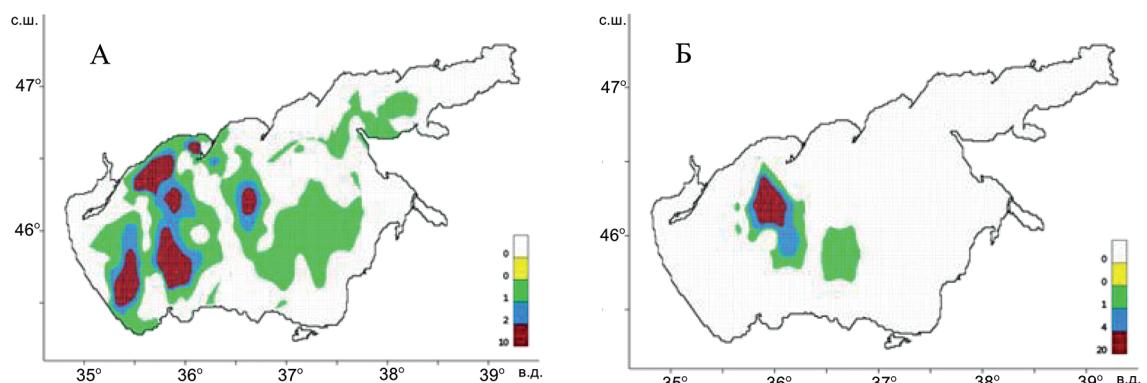


Рис. 7. Распределение бычка-кругляка (А – непромысловых размеров, Б – промысловых размеров) в октябре-ноябре 2024 г. ( $\text{кг}/\text{км}^2$ )

Fig. 7. The distribution of Round goby (A – non-commercial size, B – commercial size) in the Sea of Azov in the period of October-November 2024 ( $\text{kg}/\text{km}^2$ )

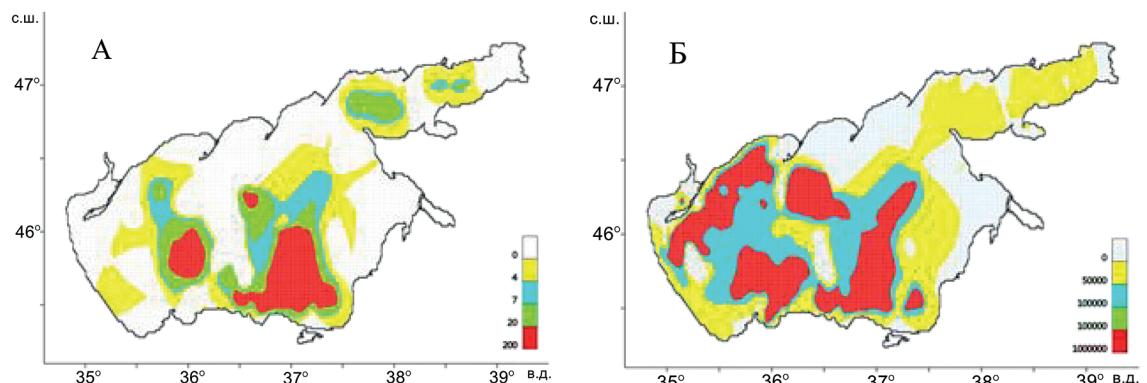


Рис. 8. Распределение черноморско-азовской проходной сельди (А – непромысловых размеров, Б – промысловых размеров) в Азовском море в октябре-ноябре 2024 г. ( $\text{кг}/\text{км}^2$ )

Fig. 8. The distribution of Pontic shad (A – non-commercial size, B – commercial size) in the Sea of Azov in the period of October-November 2024 ( $\text{kg}/\text{km}^2$ )

встречалась в северо-западной, юго-западной и центральной частях Азовского моря, а также в предпроливье (рис. 8). Отмечалась в уловах на глубинах от 4 до 10 м. Встречаемость в тралениях составила 63%.

Уловы сельди непромысловых размеров (менее 15 см) варьировали от 0,007 до 0,18 кг за траление, численность в тралениях составляла от 1 до 13 экз. Уловы рыб промысловых размеров менялись от 0,04 до 3,1 кг за траление, численность в тралениях – от 1 до 20 экз. Общая длина сельди была от 7,8 до 28 см, при средней – 18,8 см. Масса менялась от 5 до 235 г, составляя в среднем 89,8 г.

Вариационный ряд сельди черноморско-азовской проходной представлен в табл. 3.

В соотношении полов доля самок составила 51%, самцов – 23%, ювениальных особей – 26%. Распределение по стадиям зрелости гонад было следующим: самки – II – 45%, II-III – 4%, III – 51%; самцы – II – 69%, II-III – 8%, III – 23%. Большинство особей про-

мысловых размеров имели достаточное количество отложений полостного жира – в среднем 3 балла. Степень наполнения желудка и кишечника у большинства рыб оценивалась как средняя или высокая, СБНЖ составил 2,2 балла. Объектами питания являлись: тюлька, хамса, креветки.

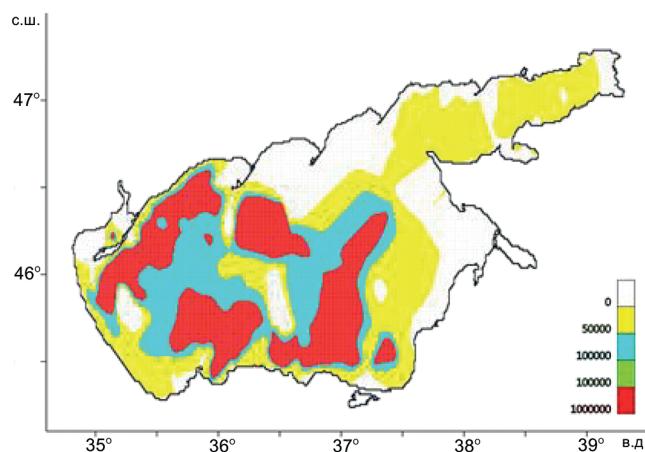
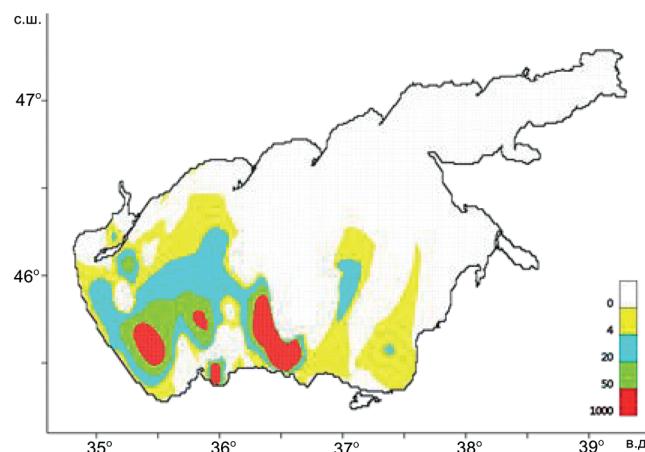
Пузанок азовский *Alosa tanaica* (Grimm, 1901). Молодь пузанка преимущественно встречалась в Таганрогском заливе. Старшевозрастные особи концентрировались в центральной и западной частях Азовского моря и в предпроливье (рис. 9).

Данный вид был представлен в уловах особями длиной 91-185 мм, массой – 7-63 г, преимущественно встречался пузанок размерной группы 131-150 мм – 53,3%. В соотношении полов доля самок составила 56%, самцов – 40%, ювениальных особей – 4%. Неполовозрелые самки наблюдались до 68% от общей численности, остальные особи имели III стадию зрелости гонад. Среди самцов до 95% были неполо-

Таблица 3. Вариационный ряд сельди черноморско-азовской проходной в Азовском море в октябре-ноябре 2024 г.

Table 3. Different types of Pontic shad in the Sea of Azov in the period of October-November 2024

Показатели	Размерный ряд, см																			
	71-80	81-90	91-100	101-110	111-120	121-130	131-140	141-150	151-160	161-170	171-180	181-190	191-200	201-210	211-220	221-230	231-240	241-250	251-260	261-270
Средний вес, г	4	7	11	11	14	14	-	30	35	37	55	61	80	97	114	132	142	165	188	217
Встречаемость, %	1	7	11	4	6	2	-	1	3	2	3	8	5	10	7	8	7	6	5	4

Рис. 9. Распределение пузанка азовского в Азовском море в октябре-декабре 2024 г. (кг/км<sup>2</sup>)Fig. 9. The distribution of Black Sea shad in the Sea of Azov in the period of October-November 2024 (kg/km<sup>2</sup>)Рис. 10. Распределение барабули в Азовском море в октябре-ноябре 2024 г. (кг/км<sup>2</sup>)Fig. 10. The distribution of Red mullet in the Sea of Azov in the period of October-November 2024 (kg/km<sup>2</sup>)

взрелыми. Питание рыб было слабым, СБНЖ составил 1,2 балла, при этом жирность пузанка азовского составила в среднем 2,8 балла.

Барабуля *Mullus barbatus* (L., 1758). Облавливаясь в основном в южной и западной частях Азовско-

го моря (рис. 10), встречаемость в учётных тралениях составила 9%. Уловы не превышали 0,5 кг за траление.

В уловах отмечались 4 возрастные группы барабули – от 0+ до 3+ лет с преобладанием сеголеток и двухлеток – 25% и 50% соответственно. Размеры рыб менялись от 70 до 120 мм, при средней длине 99,8 мм, масса рыб была от 8 до 38 г, средний вес составил 21 г. В основном в уловах встречались особи размерной группы 91-100 мм – 33%.

Судак *Sander lucioperca* (L., 1758). Сеголетки и годовики судака в количестве 4 экз. были отмечены в уловах восточной части Таганрогского залива только на одной станции на глубине 4 м. Длина рыб варьировалась от 21 до 38 см, масса – от 110 до 740 г. Доля самок составила 75%, все особи судака были неполовозрелыми.

Тарань *Rutilus rutilus* (L., 1758). Была учтена в уловах на одной станции в восточной части Таганрогского залива в количестве 57 экз. общей массой 1170 г. Все особи тарани имели непромысловые размеры от 93 до 123 мм, средняя длина составила 103 мм. Масса рыб варьировалась от 18 до 42 г, при средней – 25 г.

## Благодарности

Авторы благодарят за помощь, содействие и предоставление необходимой информации при проведении исследований и сборе материала экипажи судов ПТР «Туран» и СЧС «Капитан Горбенко».

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

## Финансирование

Исследования проведены в рамках выполнения государственного задания ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО».

## ЛИТЕРАТУРА

Правдин И.Ф. 1966. Руководство по изучению рыб. М.: Пищ. пром-ть, 1966. 376 с.

Методические рекомендации по оценке запаса и прогнозированию рекомендованного объема добычи (вылова) рыб. 2019. М.: ВНИРО. 50 с.

Изучение экосистем рыбохозяйственных водоемов, сбор и обработка данных о водных биологических ресурсах, техника и технология их добычи и переработки. Вып. 5. Наставление для наблюдателей (ихтиология). 2006. М: ВНИРО. 84 с.

Методы рыбохозяйственных и природоохранных исследований в Азово-Черноморском рыбохозяйственном бассейне. 2005. Краснодар: ФГУП «АзНИИРХ». 352 с.

## REFERENCES

Pravdin I.F. 1966. Guide to the Study of Fish. Moscow: Food industry, 376 p. (In Russ.).

Guidelines for stock assessment and prognostic recommended fish output. 2019. Moscow: VNIRO Publish. 50 p.

Study of ecosystems of fishery reservoirs, collect and process data about aquatic biological resources, equipment and technology of its extraction and processing. Issue number 5. Instruction for observers (Ichthyology). 2006. Moscow: VNIRO Publish. 84 p.

Fishery and environmental research methods in The Azov-Black Sea Fisheries Basin. 2005. Krasnodar. AzNIIRKH. 352 p.

Поступила в редакцию 12.03.2025 г.

УДК 519.246

## Информация

# О Международной научно-практической конференции «Современные методы оценки и рационального использования водных биологических ресурсов»

В период с 18 по 22 ноября 2024 г. в ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» состоялась Вторая Международная научно-практическая конференция «Современные методы оценки и рационального использования водных биологических ресурсов». Конференция была посвящена памяти выдающегося деятеля отечественной рыболовной науки Владимира Константиновича Бабаяна и продолжила традиции основанных им ещё в XX веке отраслевых методологических семинаров, подготовивших несколько поколений специалистов в области оценки запасов промысловых гидробионтов.

Цель Конференции заключалась в развитии междисциплинарных связей и научной коммуникации, а главное, в получении новых научных результатов в области прикладной количественной биологии, математического моделирования динамики запасов промысловых гидробионтов, современных методов оценки и прогнозирования состояния водных биоресурсов, а также методов управления системами «запас-промысел».

Формат Конференции с международным участием вызывает устойчивый интерес среди широкого круга исследователей. В программу Конференции были включены 43 доклада, посвящённых актуальным проблемам рыболовной науки, связанных с анализом состояния ресурсных популяций гидробионтов. Тематика Конференции была достаточно широкой и затрагивала как фундаментальные вопросы моделирования биологических систем, так и проблемы прикладных исследований в области совершенствования методов определения общих допустимых уловов и управления промыслом. В работе Конференции приняли участие сотрудники практически всех филиалов и отделений ВНИРО, от Дальнего Востока до Калининграда, а также коллеги из институтов РАН (ИФА им. Обухова РАН, ИПЭЭ им. Северцова РАН, ИЭРИЖ УрО РАН, ЛИН СО РАН, СПб ФИЦ РАН, ННЦМБ ДВО РАН), университетской науки (МГУ им. Ломоносова, КГТУ, АГТУ) и зарубежных научных учреждений Ка-

захстана, Белоруссии, Абхазии и США. В целом, следует отметить широкую географию проводимых исследований, таксономическое разнообразие объектов, изучаемых авторами представленных докладов, а главное, разнообразие приёмов и способов анализа, включающих математическое моделирование, экосистемный подход, инструментальные и молекулярно-генетические методы, а также применение искусственного интеллекта.

Первый день Конференции открылся докладом А.И. Буяновского и Д.Н. Юрьева «К проблеме оценки возрастного состава уловов гребенчатой креветки *Pandalus hypsinotus* Brandt, 1851», в котором была представлена авторская модель преобразования статистики размерных классов десятиногих раков в возрастную структуру запаса, позволяющая оценить его численность. Далее в течение дня прозвучали несколько докладов, посвящённых рыболовственным проблемам внутренних водоёмов, включая выступления коллег из Казахстана и Белоруссии.

Второй день проведения Конференции был посвящён, главным образом, классической тематике – математическим методам оценки состояния систем «запас-промысел». В докладе В.В. Кулика «Индекс биомассы трески в Западно-Беринговоморской зоне с учётом придонной температуры с 1977 по 2024 гг.» были затронуты вопросы влияния абиотических факторов среды на пространственное распределение запасов. Доклад Ю.А. Ковалева «Сравнение оценок запаса баренцевоморской трески с производительностью тралевого промысла» был посвящён важной методологической проблеме реконструкции индексов численности запаса в условиях изменений промыслового комплекса, ведущих к росту производительности лова. Особое внимание в этот день Конференции было уделено применению фильтра Калмана в когортных (А.А. Михеев) и продукционных моделях (А.И. Михайлов с соавторами). Большой интерес вызвал доклад В.В. Безматерных «Программное обеспечение для оценки биологических параметров по-

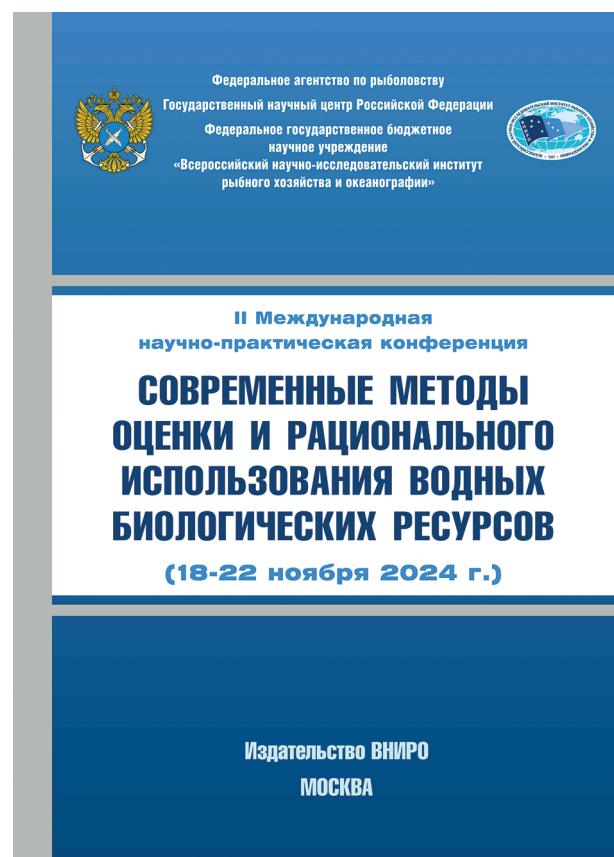
популяций водных биологических ресурсов на основе первичных данных», в котором была представлена пользовательская программная система, позволяющая анализировать большие объёмы разнородной первичной информации о промыслово-биологических свойствах популяций гидробионтов.

В третий день заслушивались доклады, посвященные различным экологическим аспектам использования водных биоресурсов, включая проблемы гидрохимии, трофологии, природоохранных мероприятий.

Четвертый день Конференции был посвящён, главным образом, проблемам организации информационного обеспечения оценок запасов, в том числе с применением искусственного интеллекта. Так, в докладе Л.К. Сидорова «Опыт применения цифрового зрения при обработке фотоматериалов авиаучетов морских млекопитающих» были продемонстрированы высокоэффективные технологии распознавания морских млекопитающих на аэрофотоснимках. В докладе Н.Г. Западаевой были представлены результаты моделирования состояния запасов байкальского омуля в период моратория на вылов. А.Ю. Переварюха представил доклад «Метод параметрического разграничения для интерпретации моделей экодинамики с нелинейными режимами», посвящённый проблеме математического моделирования коллапса запасов при различных режимах эксплуатации. Вызвал также большой интерес доклад А.Ф. Шарова (Департамент природных ресурсов штата Мериленд, США), в котором рассматривались вопросы оценивания биологических ориентиров управления запасами в условиях динамических изменений среды.

В итоговый день Конференции тематика докладов была достаточно разнообразной. Впервые за историю проведения методологических семинаров и конференций был представлен доклад об использовании молекулярно-генетических методов для оценки состояния запасов. В докладе Н.С. Мюге «Генетический мониторинг осетровых как инструмент оценки эффективности искусственного воспроизводства» были представлены результаты генетического маркирования осетровых, позволяющего отследить все этапы их жизненного цикла. Еще одной новой темой были оценки влияния микропластика на ихтиоценки арктических морей, представленные в докладе А.П. Педченко «О проблеме пластикового загрязнения: этапы и региональные аспекты исследований ВНИРО». Дискуссию вызвал доклад А.И. Болтнева, Н.П. Антонова и Е.А. Болтнева «г-К-отбор и ответ популяции на про-

мысел». Несколько докладов, в том числе коллег из Республики Абхазия, было посвящено анализу состояния запасов короткоцикловых видов, таких как черноморский шпрот (М.М. Пятинский), черноморский анчоус (Р.С. Дбар, П.Д. Гамахария), балтийский шпрот (В.М. Амосова). Завершил Конференцию доклад сотрудника ФГБОУ ВО «КГТУ» П.Н. Барановского «Структурный анализ рыбных сообществ р. Преголь Калининградской области».



По итогам Конференции опубликован сборник материалов «Современные методы оценки и рационального использования водных биологических ресурсов. Материалы II Международной научно-практической конференции. Москва, ФГБНУ «ВНИРО», 18-22 ноября 2024 г. / Авторы-составители: Д.А. Васильев, А.Е. Бобырев, А.И. Михайлов, Н.Г. Западаева, В.Р. Соколовский. М.: Изд-во ВНИРО. 2025. 184 с., в электронном виде полный текст можно посмотреть по адресу <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80356429>.

А.И. Михайлов, А.Е. Бобырев