

**Труды Всероссийского
научно-исследовательского
института рыбного хозяйства
и океанографии**

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор	Глубоковский М.К., научный руководитель ФГБНУ «ВНИРО», профессор кафедры Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, д.б.н. (Москва, Россия)
Ответственный редактор	Орлов А.М., гл. научный сотрудник ФГБНУ «ВНИРО», зав. лабораторией ФГБНУ «Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН», д.б.н. (Москва, Россия)
Научный редактор	Карпинский М.Г., гл. научный сотрудник ФГБНУ «ВНИРО», д.б.н. (Москва, Россия)

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Абрамова Л.С., зам. руководителя Департамента ФГБНУ «ВНИРО», д.т.н., профессор (Москва, Россия)
 Архипкин А.И., ст. научный сотрудник, зав. научной секцией Департамента рыболовства Фолклендских островов, к.б.н. (Стенли, Фолкленды)
 Баликин П.А., гл. научный сотрудник ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Южный научный центр РАН», д.б.н. (Ростов-на-Дону, 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)
 Бетин О.И., советник директора ФГБНУ «ВНИРО», д.э.н., профессор (Москва, Россия)
 Бизиков В.А., зам. директора по научной работе ФГБНУ «ВНИРО», д.б.н. (Москва, Россия)
 Бишиш Р.Дж., сотрудник Тихоокеанской биологической станции, доктор наук, почетный ученый (Нанаймо, Канада)
 Булгакова Т.И., гл. научный сотрудник, ФГБНУ «ВНИРО», д.т.н. (Москва, Россия)
 Васильев Д.А., начальник отдела ФГБНУ «ВНИРО», д.т.н. (Москва, Россия)
 Габриелян Б.К., директор Научного Центра Зоологии и Гидроэкологии Национальной Академии Наук Республики Армения, д.б.н., профессор (Ереван, Армения)
 Галактионов К.В., зав. лабораторией ФГБНУ «Зоологический институт РАН», д.б.н., профессор РАН (Санкт-Петербург, Россия)
 Долгов А.В., гл. научный сотрудник Полярного филиала ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО им. Н.М. Книповича»), д.б.н., доцент (Мурманск, Россия)
 Животовский Л.А., зав. лабораторией ФГБНУ «Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН», гл. научный сотрудник ФГБНУ «ВНИРО», д.б.н., профессор (Москва, Россия)
 Кантор Ю.И., ведущий научный сотрудник ФГБНУ «Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН», д.б.н. (Москва, Россия)
 Клетьер А.Н., гл. научный сотрудник ФГБНУ «Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН», д.б.н. (Москва, Россия)
 Крикунов Е.А., профессор кафедры ихтиологии Биологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, д.б.н., член-корреспондент РАН (Москва, Россия)
 Лабай В.С., зав. лабораторией Сахалинского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («СахНИРО»), д.б.н. (Южно-Сахалинск, Россия)
 Лаптеховский В.В., сотрудник научного центра по окружающей среде, рыболовству и аквакультуре, д.б.н. (Лоустофт, Великобритания)
 Лендъел П., начальник отдела развития аквакультуры, Министерство сельского хозяйства Венгрии (Сарваш, Венгрия)
 Лукин А.А., зам. нач. учреждения - начальник ФСГЦР филиал ФГБУ «Главрыбвод», д.б.н., профессор (Ропша, Россия)
 Мизюркин М.А., гл. научный сотрудник, Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), д.т.н., профессор (Владивосток, Россия)
 Мнацаканян А.Г., директор института отраслевой экономики и управления ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», д.э.н., профессор КГТУ (Калининград, Россия)
 Мокиевский В.О., гл. научный сотрудник, руководитель лаборатории ФГБНУ «Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН», д.б.н. (Москва, Россия)
 Папцов А.Г., директор ФГБНУ «Федеральный научный центр аграрной экономики и социального развития сельских территорий – Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства», д.э.н., профессор, академик РАН (Москва, Россия)
 Пахомов Е.А., профессор Университета Британской Колумбии, к.б.н. (Ванкувер, Канада)
 Пинчук А.И., доцент Университета Аляски, к.б.н. (Джуно, США)
 Подкорытова А.В., гл. научный сотрудник ФГБНУ «ВНИРО», д.т.н., профессор (Москва, Россия)
 Политов Д.В., гл. научный сотрудник, зав. лабораторией ФГБНУ «Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН», д.б.н. (Москва, Россия)
 Радченко О.А., директор Института биологических проблем Севера Дальневосточного отделения РАН, д.б.н., профессор (Магадан, Россия)
 Романов Е.В., руководитель проектов Технического центра по исследованию и освоению водной среды, к.б.н. (Ле Порт, Реюньон, Франция)
 Рубан Г.И., гл. научный сотрудник ФГБНУ «Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН», д.б.н. (Москва, Россия)
 Семин А.Н., зав. кафедрой стратегического и производственного менеджмента ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», д.э.н., профессор, академик РАН (Екатеринбург, Россия)
 Серегин С.Н., советник директора ФГБНУ «ВНИРО», д.э.н., профессор (Москва, Россия)
 Труба А.С., консультант по экономическим вопросам ФГБНУ «ВНИРО», д.э.н., доцент (Москва, Россия)
 Харенко Е.Н., зам. директора по научной работе ФГБНУ «ВНИРО», д.т.н., доцент (Москва, Россия)
 Шунтов В.П., гл. научный сотрудник Тихоокеанского филиала 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. 25,5

Тираж 300 экз.

Подписан в печать 29.12.2021 г.

Адрес редакции:

107140, Москва, ул. Верхняя Красносельская, 17

Тел.: 8-499-264-65-33

E-mail: trudy@vniro.ru

© ФГБНУ «ВНИРО», 2021

Proceedings of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography

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

EDITORIAL BOARD

- Editor-in-Chief** – Glubokovsky M.K., Doctor of Biological Sciences, Professor, Scientific Supervisor of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), Moscow, Russia
- Executive editor** – Orlov A.M., Doctor of Biological Sciences, Chief Scientist «VNIRO», Head of the laboratory of the P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, 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
- Arkhipkin A.I.*, Candidate of Biological Sciences, Senior Scientist, Head of the scientific section of the Falkland Islands Fisheries Department, Stanley, Falklands
- Balykin P.A.*, Doctor of Biological Sciences, Deputy Head of the department, Chief Scientist of the Federal Research Center Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, 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)
- Betin O.I.*, Doctor of Economical Sciences, Professor, Advisor to the Director of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), Moscow, Russia
- 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
- Bulgakova T.I.*, Doctor of Technical Sciences, Chief Scientist of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), Moscow, Russia
- 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, Associate Professor, Deputy Director for scientific work 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
- 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)
- Lukin A.A.*, Doctor of Biological Sciences, Professor, Deputy head of the Federal Selection and Genetic Center of Fish Farming, Branch of «Glavrybvod», Ropsha, 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
- Papstov A.G.*, Doctor of Economical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Director of the Russian Research Institute of Agricultural Economics of the Federal Research Center for Agricultural Economics and Social Development of Rural Territories, Moscow, Russia
- Pinchuk A.I.*, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, University of Alaska, Juneau, USA
- Podkorytova A.V.*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Scientist of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), Moscow, Russia
- Polotov D.V.*, Doctor of Biological Sciences, Chief Scientist, Head of the laboratory of the Vavilov Institute of General Genetics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
- Radchenko O.A.*, Doctor of Biological Sciences, Professor, Director of the Institute of Biological Problems of the North of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Magadan, Russia
- Romanov E.V.*, Candidate of Biological Sciences, Project manager of the Technical Center for Research and Development of the Aquatic Environment, Le Port, 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
- Truba A.S.*, Doctor of Economical Sciences, Associate Professor, Consultant on Economic Issues 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
- Zhivotovsky L.A.*, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the laboratory of the Vavilov Institute of General Genetics of the Russian Academy of Sciences, Chief Scientist of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), Moscow, Russia

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОМЫСЛОВЫЕ ВИДЫ И ИХ БИОЛОГИЯ

Дуленин А.А., Диденко Д.С.

Количественные закономерности распределения обикрения на естественных нерестилищах охотской сельди 5
Зеленников О.В.

О резорбции ооцитов периода прерывающегося оогенеза у круглоротых и рыб 21

ВОДНЫЕ БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

Датский А.В., Кулик В.В., Датская С.А.

Динамика обилия массовых промысловых рыб дальневосточных морей и прилегающих районов открытой части Тихого океана и влияющие на нее факторы 31

Труфанова И.С., Амосова В.М.

Долгосрочный прогноз российской добычи сельди в Балтийском море 78

Быков А.Д.

Видовой состав и распределение ранней молоди рыб в период покатных миграций в среднем течении р. Ока . . . 91

СРЕДА ОБИТАНИЯ ВОДНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

Трофимов А.Г.

Современные тенденции изменения океанографических условий Баренцева моря 101

Бойцов В.Д., Гузенко В.В.

Сравнительный анализ межгодовой изменчивости температуры воды поверхности юго-западной части Баренцева моря и на разрезе «Кольский меридиан» 119

Македонская И.Ю., Отченаш Н.Г., Медведева Е.В.

Многолетние исследования фитопланктона Печавской салмы Онежского залива Белого моря (по результатам наблюдений 2001-2016 гг.) 132

РЫБОЛОВСТВО

Павленко А.А., Лихошапко А.А., Лихоглазов А.Ю., Шмелев С.В., Лютый С.Г.

Способ улучшения селективных качеств ловушек для промысла камчатского краба 143

ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ВОДНЫХ БИОРЕСУРСОВ

Подкорытова А.В., Рощина А.Н.

Морские бурые водоросли – перспективный источник БАВ для медицинского, фармацевтического и пищевого применения 156

ЭКОНОМИКА, МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО И НОРМАТИВНЫЕ ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Колончин К.В., Бетин О.И., Рудашевский В.Д.

Организационное развитие и управление экономикой рыбохозяйственного комплекса 173

Дусаева Е.М., Труба А.С., Курманова А.Х.

Трансформация контроля в рыбохозяйственном комплексе в условиях цифровизации 182

ИНФОРМАЦИЯ

Моисеев С.И., Лысенко А.В., Морозов Т.Б., Матвеев А.А., Блищак Н.М., Моисеева С.А.

Результаты биологических исследований на шельфе Западной Камчатки летом 2021 г. 189

Углова Т.Ю., Соколов А.В.

Покатная миграция горбуши в р. Савушкина о. Парамушир (Северные Курилы) в весенне-летний период 2021 г. 196

CONTENTS

COMMERCIAL SPECIES AND THEIR BIOLOGY

Dulenin A.A., Didenko D.S.

Quantitative regularities of habit distribution on natural spawning grounds of Okhotsk herring within the macrophyte belt. 5

Zelennikov O.V.

About resorption of previtellogenesis oocytes in cyclostomes and fish 21

AQUATIC BIOLOGICAL RESOURCES

Datsky A.V., Kulik V.V., Datskaya S.A.

The dynamics of the abundance of commercial fish in the Far Eastern seas and adjacent areas of the open part of the Pacific Ocean and factors influencing it. 31

Trufanova I.S., Amosova V.M.

Long-term forecast of Russian herring catch in the Baltic Sea 78

Bykov A.D.

Species composition and distribution of early juvenile fish in the period of sloping migrations in the middle course of the Oka River. 91

HABITAT OF AQUATIC BIOLOGICAL RESOURCES

Trofimov A.G.

The current trends in oceanographic conditions of the Barents Sea. 101

Boitsov V.D., Guzenko V.V.

Comparative analysis of interannual variability of water temperature in the Barents Sea using data from the sea surface (SST) and the Kola Section 119

Makedonskaya I.Yu., Otchenash N.G., Medvedeva E.V.

Long-term studies in phytoplankton from the Pechakovskaya salma strait in the Onega bay of the White Sea (on the results from observations in 2001-2016). 132

FISHERY

Pavlenko A.A., Likhoshapko A.A., Likhograev A.Y., Shmelev S.V., Lyutiy S.G.

The ability to improve the selectivity of pots for the king crab. 143

AQUATIC BIORESOURCES PROCESSING TECHNOLOGIES

Podkorytova A.V., Roshchina A.N.

Marine brown algae – perspective source of BAS for medical, pharmaceutical and food use. 156

ECONOMICS, INTERNATIONAL COOPERATION AND REGULATORY BASES OF FISHERIES MANAGEMENT

Kolonchin K.V., Betin O.I., Rudashevsky V.D.

Organizational development and economic management of the fishery complex 173

Dusaeva E.M., Truba A.S., Kurmanova A.Kh.

Transformation of control in the fisheries complex in the conditions of digitalization 182

INFORMATION

Moiseev S.I., Lysenko A.V., Morozov T.B., Matveev A.A., Blishchak N.M., Moiseeva S.A.

Results of biological research on the shelf of Western Kamchatka in the summer of 2021 189

Uglova T.Yu., Sokolov A.V.

Downstream migration of pink salmon into the R. Savushkina Paramushir Island (Northern Kuriles) in the spring-summer period of 2021 196

Промысловые виды и их биология

Количественные закономерности распределения обькрения на естественных нерестилищах охотской сельди

А.А. Дуленин, Д.С. Диденко

Хабаровский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ХабаровскНИРО»), Амурский бульвар, 13а, г. Хабаровск, 680030

E-mail: dulenin@mail.ru

Цель работы состояла в ретроспективном анализе количественных характеристик обькрения на естественных нерестилищах охотской популяции сельди, расположенных в пределах сублиторального пояса макрофитов основной части ее нерестового ареала, т.е. у северо-западного побережья Охотского моря в границах Хабаровского края.

Основным методом сбора материалов послужили специализированные водолазные съёмки на нерестилищах, выполненные единообразно, в одних и тех же районах в 2008–2020 гг.

В результате были проанализированы данные о межгодовой динамике общей площади нерестилищ, количества ежегодно откладываемой на макрофиты икры и расчётной численности нерестового запаса. Рассмотрена временная и пространственная динамика площадей локальных нерестилищ, плотностей обькрения, массовых долей икры на макрофитах. Установлено, что количество отложенной сельдью икры связано сильно выраженной степенной зависимостью с площадью локальных нерестилищ ($y = 0,41x^2 + 3,27x + 0,46$; $R^2 = 0,87$; $F = 1182,8$; $p < 0,0001$). При этом количество икры оказалось слабо связано с плотностью обькрения ($R^2 = 0,14$) и массовой долей икры на макрофитах ($R^2 = 0,25$). Тестовые расчёты количества отложенной икры по уравнению зависимости от площади локальных нерестилищ показали высокое сходство результатов ($r_s = 0,94$) с расчётами стандартным методом (с использованием показателей площади и плотности обькрения). Установлено, что плотности и массовые доли обькрения относительно равномерно распределяются по глубине и в широтном направлении.

Заключение. Выявленные закономерности могут быть использованы для рационализации учетных съёмок и для расчёта нерестового запаса.

Ключевые слова: охотская сельдь *Clupea pallasii*, естественные нерестилища, обькрение, закономерности распределения.

Quantitative regularities of roe distribution on natural spawning grounds of Okhotsk herring within the macrophyte belt

Aleksandr A. Dulenin, Dmitry S. Didenko

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

The aim of this paper is the retrospective analysis of quantitative characteristics of roe coverage on natural spawning grounds of Okhotsk herring within the sublittoral macrophyte belt in the main part of its spawning range (the northwestern coast of the Sea of Okhotsk within Khabarovsk Krai).

Methods. The main data collecting method were the specialized SCUBA roe surveys on the spawning ground, carried out uniformly in the same areas in 2008-2020.

As results, spawning grounds total area interannual dynamics, annual amount of roe deposited on macrophytes, and spawning stock estimates, calculated by these indicators according to the generalized data were analyzed. The temporal and spatial dynamics of the local spawning areas, roe density and mass ratios on macrophytes were analyzed. It was found that the amount of roe laid by herring is associated with a strongly pronounced power dependence with the area of local spawning grounds ($y = 0.41x^2 + 3.27x + 0.46$, $R^2 = 0.87$, $F = 1182.8$, $p < 0.0001$). At the same time, the amount of roe turned out to be weakly related to the density of its laing ($R^2 = 0.14$) and the mass fraction of roe on macrophytes ($R^2 = 0.25$). Test calculations of the amount of laid roe using the equation of dependence on the area of local spawning grounds showed a high similarity of the results ($r_s = 0.94$) with the calculations by the standard method (using indicators of area and roe density). Therefore, deposited roe quantity is suggested to be calculated from the equation of its relationship with the spawning grounds area estimates. It has been found that roe densities and mass fractions are relatively evenly distributed over depth and latitude.

Conclusion. The revealed patterns can be used to rationalize roe survey and for the herring stock assessment.

Keywords: Pacific herring *Clupea pallasii*, Okhotsk population, natural spawning grounds, roe coverage, distribution regularities, deposited roe estimation.

ВВЕДЕНИЕ

Из нескольких популяций сельди (*Clupea pallasii* Cuvier et Valenciennes, 1847), обитающих в Охотском море, наиболее многочисленной в настоящее время является охотская [Булгакова, Смирнов, 2016]. Это самая крупная эксплуатируемая сельдевая популяция в мире и второй по значимости после минтая объект добычи в северной части Охотского моря [Фархутдинов, 2007]. Её численность в последние годы растёт. Нерест происходит преимущественно на донную растительность. В своё время считалось, что сельдь нерестится большей частью на литорали [Галкина, 1960]. Однако, вскоре выяснилось, что основной зоной нереста является сублитораль, где для определения площади нерестилищ стали использовать водолазные съёмки. Нерестовый ареал популяции простирается у материковых побережий северо-западной части Охотского моря от Удской губы на юге до Тайфунской губы на севере [Тюрнин, 1973]. Его общая протяжённость составляет более 1000 км. За весь период исследований обнаружено 107 локальных нерестилищ; их потенциальная площадь оценена в 77,956 км² при общей протяжённости 355,5 км.¹ Реальная площадь нерестилищ всегда значительно меньше: ранее в разные годы она колебалась в пределах от 1,5 до 30 км² [Тюрнин, 1973; Бенко и др., 1987]. Основные нерестилища расположены на участках от мыса Борисова на юго-западе до Ейринейской губы на северо-востоке района [Тюрнин, 1967; Пономарев, 2012].

Главными нерестовыми субстратами являются 4 доминирующих вида бурых водорослей района: *Saccharina gurjanovae* (A.D. Zinova) Selivanova, Zhigadlova & G.I. Hansen 2007, *Alaria esculenta* (L.) Greville 1830, *Stephanocystis crassipes* (Mertens ex Turner) Draisma, Ballesteros, F. Rousseau & T. Thibaut 2010, *Pseudolessonia laminarioides* (Postels & Ruprecht) G.Y. Cho, N.G. Klochkova, T.N. Krupnova & Boo 2006, а также многовидовые группировки красных водорослей: *Ptilota asplenioides* (Esper) C. Agardh 1822, *Odonthalia corymbifera* (S.G. Gmelin) Greville 1830, *Tichocarpus crinitus* (S.G. Gmelin) Ruprecht 1850, *Chondrus platynus* (C. Agardh) Ruprecht 1850, *Neohyppophyllum middendorffii* (Ruprecht) M.J. Wynne 1983, *Hymenena ruthenica* (Postels & Ruprecht) A.D. Zinova 1965, зелёная водоросль *Ulva lactuca* L. 1753 и морская трава *Zostera marina* L. 1753. Количественные закономерности распределения донных макрофитов в пространстве и времени в районе расположения основных нерестилищ сельди уже были

проанализированы [Дуленин, 2015; 2016]. Кроме того, ранее был определён процент встречаемости икры на разных видах макрофитов [Суховеева, 1976], изучена мощность их обсыхания [Бенко и др., 1987]. Далее исследованы качественные характеристики нерестилищ, развитие и выживаемость на них икры [Тюрнин, 1973; Пономарев, 2012]. Ряд недавних работ [Белый, 2008 а, б; 2009, 2013] обсуждают характеристики обсыхания, полученные у северо-восточного края нерестового ареала, преимущественно вне основной его части. При всем том, градиентные количественные закономерности распределения обсыхания на нерестовых субстратах в пространстве и времени в пределах основной части нерестового ареала, т.е. на пространстве от мыса Борисова до Ейринейской губы, до сих пор не были изучены. Зависимости между численностью родительских поколений сельди и количественными характеристиками нерестилищ были исследованы отчасти, преимущественно на материалах тех лет, когда популяция охотской сельди была в депрессивном состоянии [Фархутдинов, 2005; Пономарев, 2012].

Между тем, помимо собственно научного интереса, исследование таких закономерностей имеет важное практическое значение для прогнозирования состояния запаса сельди. Поэтому для их выявления необходимо было выполнить ретроспективный анализ имеющихся данных. Настоящая статья представляет результаты проведённого анализа. Основными его задачами были следующие:

1. Выявить закономерности изменения обсыхания во времени в период роста численности охотской популяции сельди.
2. Показать связь характеристик обсыхания с общим количеством отложенной на нерестилищах икры при современном состоянии популяции охотской сельди.
3. Описать закономерности распределения обсыхания в пространстве (по географической широте вдоль побережья и по глубине).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для анализа особенностей обсыхания использованы материалы икорных водолазных съёмок, проведённых вдоль основной части нерестового ареала охотской сельди (табл. 1, рис. 1) в границах Хабаровского края, выполненных единообразно и охватывающих одни и те же акватории. Для непосредственного наблюдения закономерностей обсыхания под водой первый автор лично выполнил не менее 300 погружений (водолазных станций) вдоль всей основной части нерестового ареала и участвовал в проведении 5 икорных съёмок.

¹ Фархутдинов Р.К. 2005. Экология воспроизводства, динамика численности и состояние запасов охотской сельди. Дисс. канд. биол. наук. Хабаровск: ХФТИНРО. С. 26.

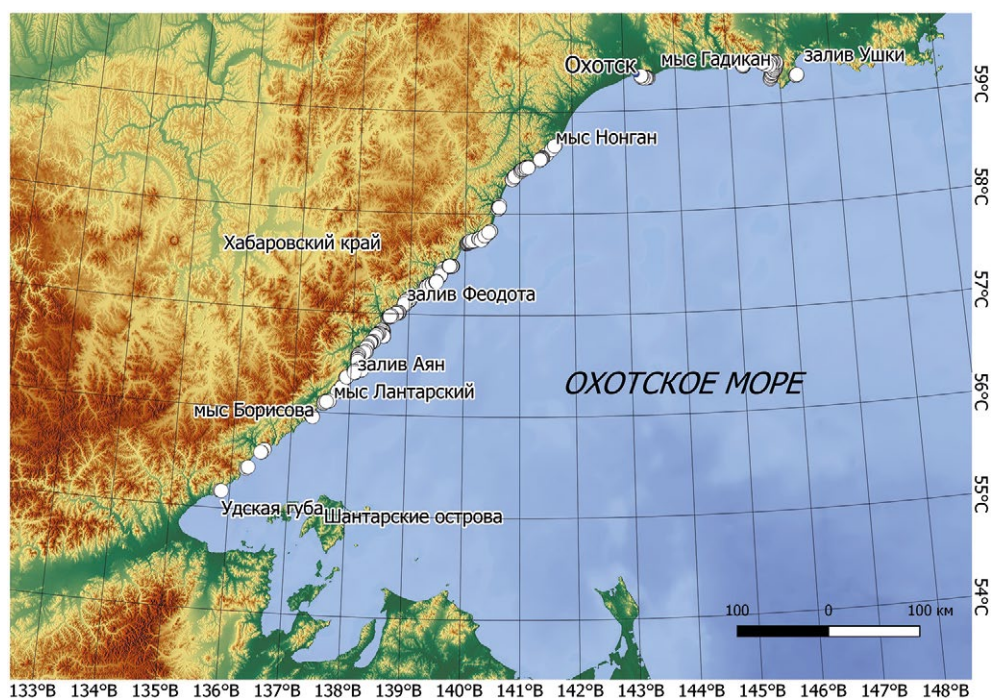


Рис. 1. Районы проведения икорных водолазных съёмок ХабаровскНИРО на основной части нерестового ареала охотской сельди у побережий северо-западной части Охотского моря в 2008–2020 гг.

Fig. 1. SCUBA roe surveys areas in the main part of Okhotsk herring spawning range at the north-western Sea of Okhotsk, according to the KhabarovskNIRO data of 2008–2020

Таблица 1. Данные икорных съёмок ХабаровскНИРО

Table 1. Roe surveys data of KhabarovskNIRO

Год	Судно	Обследованные участки	Глубины, м	Число станций
2008	ПТР «Иней»	Мыс Борисова – Ейринейская губа	1–20	286
2009	НИС «Потанино»	Мыс Борисова – зал. Ушки	1–15	395
2010	НИС «Потанино»	Мыс Борисова – Ейринейская губа	1–12	390
2011	НИС «Потанино»	Мыс Борисова – Ейринейская губа	1–13	425
2012	НИС «Потанино»	Мыс Борисова – Ейринейская губа	1–21	509
2013	НИС «Потанино»	Мыс Борисова – Ейринейская губа	1–13	592
2014	НИС «Потанино»	Зал. Аян – Ейринейская губа	1–23	412
2015	НИС «Потанино»	Мыс Борисова – Ейринейская губа	1–16	580
2017	НИС «Убеждённый»	Зал. Аян – зал. Ушки	1–13	522
2018	НИС «Убеждённый2	Мыс Лантарь – Ейринейская губа	1–11	506
2019	НИС «Убеждённый»	Мыс Александры – зал. Ушки	2–14	486
2020	НИС «Убеждённый»	Зал. Аян – Ейринейская губа	2–16	492
Итого:			1–21	5183

Стандартная методика проведения икорных водолазных съёмок и последующей обработки проб, изложенная Р.К. Фархутдиновым,² с некоторыми дополнениями используется до настоящего времени. Съёмки

² Там же, с. 8–10.

проводят с борта среднетоннажных судов с использованием специализированных водолажных ботов и надувных моторных лодок. Водолазы используют лёгкое автономное снаряжение. Водолазные станции располагают сериями, объединёнными в разрезы перпенди-

кулярно береговой линии. Станции выполняют через каждые 50 м от глубины 1–2 м до окончания встречаемости икры сельди на макрофитах (до 12–23 м в разные годы) или до нижней границы пояса макрофитов (что наступит раньше). Разрезы делают на приблизительно равном расстоянии друг от друга (от 200 метров на небольших нерестилищах до 500 метров на крупных). В связи с высокими темпами и суровыми условиями проведения съёмки, используют упрощённую схему отбора водолазных проб. Пробы отбирают приблизительно, с 0,25 м², отмеряя стороны учётной площади (50×50 см) при помощи локтя водолаза [Дуленин, 2017], с тотальной выборкой всех обыкренных растительных субстратов. Водолаз визуально оценивает процент ОПП (общего проективного покрытия дна макрофитами) и ПП (проективного покрытия каждого из доминирующих видов). Глубину определяют по эхолоту, координаты — при помощи спутниковых навигаторов. Далее координаты экспортируют в GoogleEarth (с 2010 г.) и с помощью инструмента «многоугольник» оконтуривают каждое нерестилище, определяя его площадь.

На судне пробы взвешивают с максимальной возможной точностью (обычно до 10 г) с указанием общей биомассы макрофитов и биомассы доминирующих видов. Для оценки массовой доли икры (МДИ, %) и плотности обыкрения (ПО, млн икринок/м²), из каждой пробы на глаз отбирают мини-пробу массой около 50 г с характерными для основной пробы показателями соотношения видов и обыкрения. Мини-пробы этикетировывают, фиксируют в 4%-ном формалине и обрабатывают в камеральных условиях. Отделённую от макрофитов икру и растительный субстрат взвешивают на электронных весах с точностью до сотых долей грамма. В каждой пробе берут навеску икры (около 300 мг). Икру в навеске просчитывают. МДИ определяют отношением массы икры к массе субстрата в мини-пробе. Далее вычисляют ПО:

1) $Q_0 = \sum M_i \times k_i \times 4 \times ПП_i / 10000$, где Q_0 — ПО в пробе, г/м²; M_i — масса макрофитов в пробе с 0,25 м², г; k_i — МДИ, % на макрофитах; 4 — коэффициент пересчёта на 1 м²; ПП — %.

2) $P_0 = \sum Q_i \times n_i$, где P_0 — ПО в пробе, млн икринок/м²; Q_i — ПО на макрофитах из пробы, г/м²; n_i — количество икринок в 1 г на макрофитах.

Количество отложенной на нерестилище икры определяют как произведение средней ПО на этом нерестилище и площади нерестилища. Среднюю ПО нерестилища вычисляют как сумму ПО всех проб, взятых на этом нерестилище, делённую на количество этих проб. Для устранения неточностей, возникавших при расчёте количества икры во время икорных съё-

мок, авторы вычислили количество икры, отложенной на каждом нерестилище повторно, поэтому в статье используются скорректированные данные. Общее количество отложенной икры определяется как сумма количеств икры, учтённых на всех нерестилищах. Популяционную плодовитость охотской сельди определяют, как общее количество икры на нерестилищах с экспертными поправками, учитывающими количество икры на дне, штормовые выбросы икры, выедание икры животными и т.п. Поскольку с помощью инструментальных методов определяют только количество икры, отложенной на растительные субстраты в пределах нерестилищ, авторы для количественного анализа обыкрения использовали именно этот показатель. Численность сельди, отнерестившейся на каждом нерестилище, рассчитывают исходя из количества отложенной икры, средней индивидуальной абсолютной плодовитости сельди и доли самок. Общую численность нерестового запаса (ЧНЗ) определяют как сумму численности производителей, отнерестившихся на каждом нерестилище.

В настоящей работе для выявления зависимостей между показателями обыкрения использовали процедуры регрессионного анализа. Градиентные изменения биоты как правило наблюдаются с глубиной [Жирков, 2010] и по широте [Вальтер, 1982; Миркин и др., 2001], поэтому здесь проанализированы изменения обыкренности по глубине и по географической широте. Для оценки размаха колебаний показателей сравнивали величины их коэффициентов вариации. Оценку статистической значимости изменений в случае единственной выборки выполняли при помощи одновыборочного теста Вилкоксона, в случае множественности выборок при помощи теста Краскела-Уоллиса. Относительное влияние различных учитываемых параметров (площади нерестилищ, МДИ и ПО) выявляли методом главных компонент. Для того, чтобы выяснить какой метод расчёта количества отложенной икры наиболее пригоден для практического применения, сравнивали результаты расчётов, выполненные разными способами. Использовали уравнение зависимости, которая показывает наибольший коэффициент детерминации с количеством отложенной икры. Для расчёта количества отложенной икры применили уравнение связи между площадями локальных нерестилищ и количеством отложенной на них икры, полученное на основе суммирования многолетних данных икорных съёмок с 2008 по 2020 гг. Для расчёта количества икры с поправкой на МДИ и ПО результат расчёта по уравнению площади умножали на коэффициенты МДИ или ПО. Эти коэффициенты вычислены, как отношение значения МДИ и ПО в расчётный год

к среднегодовому значению. Для выявления связи между результатами расчётов использовали ранговый коэффициент корреляции Спирмена. Выбор коэффициента обусловлен тем, что он, будучи непараметрическим, пригоден для сравнения небольших выборок. Статистическая обработка выполнена с использованием свободно распространяемого статистического пакета PAST 3 [Hammer, 2018] и тестов, входящих в базовую комплектацию программной среды R.³ Картографические данные обработаны в пакете NextGIS QGIS.⁴

РЕЗУЛЬТАТЫ

За период относительно высокой численности сельди с 2008 по 2020 гг. статистически значимо растёт ЧНЗ охотской популяции сельди ($\alpha = 0,28 \pm 0,07$,

$R^2 = 0,62$, $p = 0,002$), общее количество откладываемой икры ($\alpha = 8,52 \pm 2,11$, $R^2 = 0,62$, $p = 0,002$) и общая площадь нерестилищ ($\alpha = 1,34 \pm 0,4$, $R^2 = 0,53$, $p = 0,007$), определяемые по данным ежегодных икорных съёмок (рис. 2). При этом среднегодовая ПО, наоборот, относительно постоянна (с некоторыми исключениями) и не показывает статистически значимого тренда ($\alpha = 0,01 \pm 0,05$, $R^2 = 0,02$, $p = 0,67$).

Сказанное даёт основания рассмотреть связь площади нерестилищ, ПО и связанных с ними показателей — количеством откладываемой икры и ЧНЗ (рис. 3).

Зависимости количества отложенной икры ($\alpha = 4,6 \pm 1,7$, $R^2 = 0,61$, $p < 0,003$) и ЧНЗ ($\alpha = 0,15 \pm 0,04$, $R^2 = 0,59$, $p < 0,003$) от площади хорошо выражены. В то же время зависимости количества отложен-

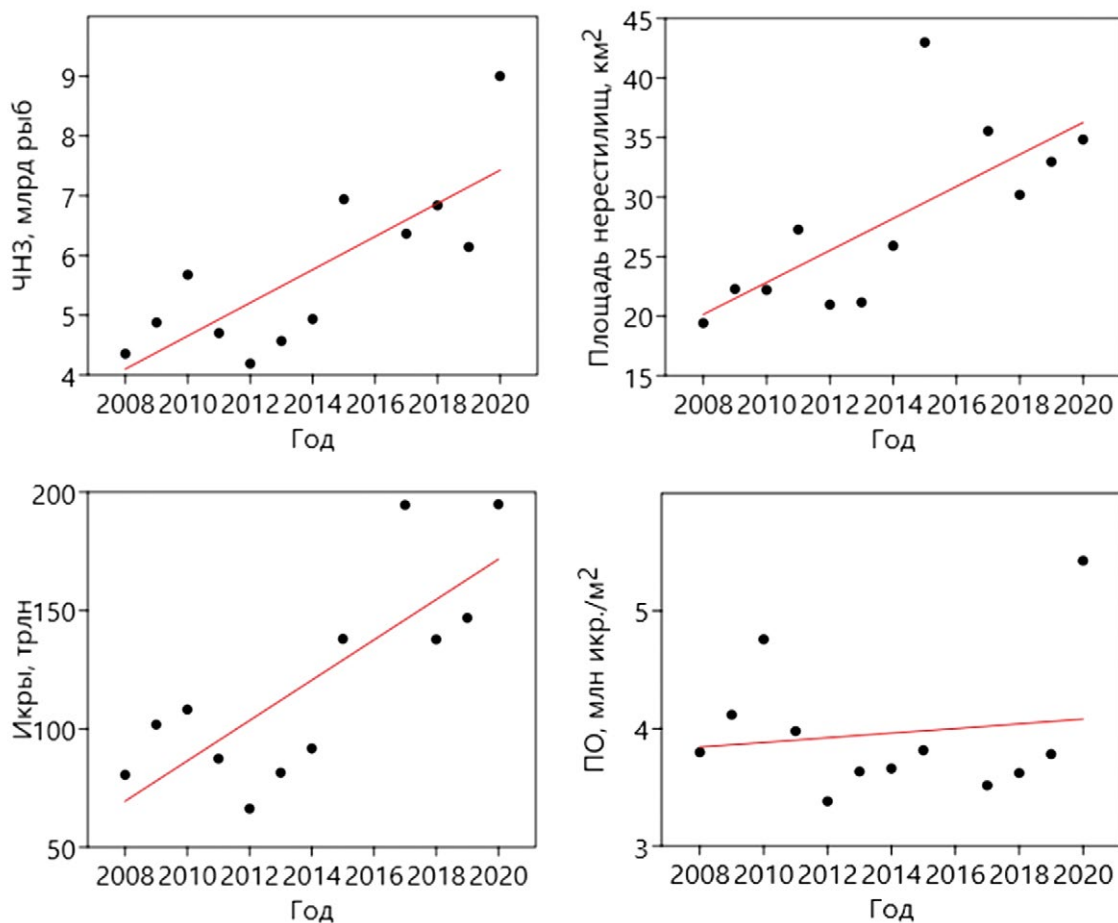


Рис. 2. Межгодовая динамика определяемых во время икорных съёмок показателей

Fig. 2. Interannual dynamics for the indices obtained by roe surveys

³ R Core Team. 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Accessible via: <https://www.R-project.org>. 16.02.2021.

⁴ Команда NextGIS. 2019. Документация NextGIS QGIS. Выпуск 17.0. 25–10–2019. 227 с. Доступно через: https://docs.nextgis.ru/_downloads/340c10edc4ee3eb26e18ef9398e87567/NextGISQGIS.pdf. 24.02.2021.

ной икры ($\alpha = 37,8 \pm 17$, $R^2 = 0,33$, $p = 0,05$) и ЧНЗ ($\alpha = 1,4 \pm 0,6$, $R^2 = 0,36$, $p = 0,04$) от плотности обыкрения выражены гораздо слабее, показывая, тем не менее, статистически значимые восходящие тренды. Однако внимательное рассмотрение графиков (рис. 3,

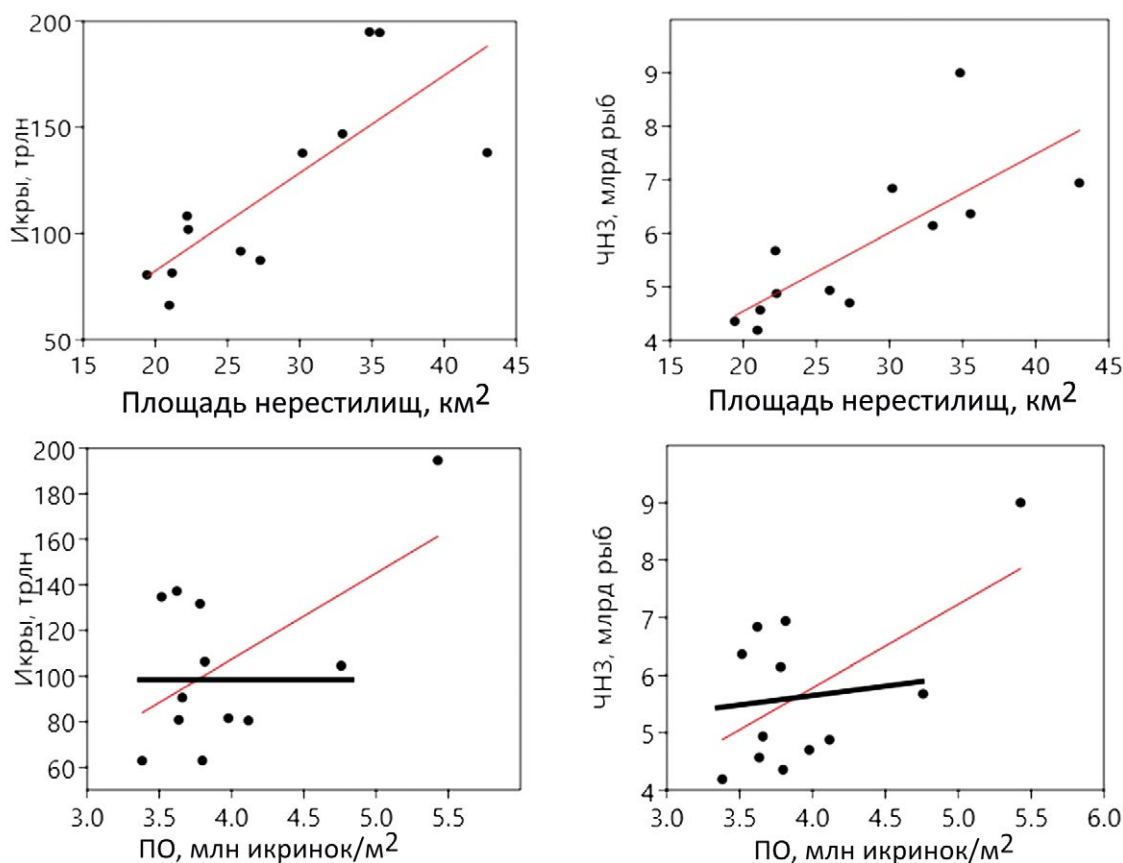


Рис. 3. Зависимости количества откладываемой икры и ЧНЗ от площади нерестилищ и ПО по данным 2008–2020 гг. Жирным проведены тренды с исключёнными данными сверхурожайного поколения 2020 г., пояснения см. в тексте

Fig. 3. Dependences of deposited herring roe quantity and spawning stock on the area of spawning grounds and roe density according to data of 2008–2020. Trends in bold with excluded data of the 2020 over-yielding generation, see text for explanations

внизу) показывает, что наклон линий трендов обусловлен только одной точкой (194 трлн икринок и 9 млрд рыб нерестового запаса, соответственно), т.е. нетипичными значениями сверхурожайного 2020 г. Исключение этой точки на каждом из графиков позволяет выявить реальную картину — как правило, зависимость количества отложенной икры ($\alpha = -0,98 \pm 24,6$, $R^2 = 0,0002$, $p = 0,97$) и ЧНЗ ($\alpha = 0,12 \pm 0,9$, $R^2 = 0,002$, $p = 0,9$) от среднегодовой плотности обыврения растительности отсутствует (рис. 3, тренды выделены жирным).

Далее, необходимо рассмотреть, каковы зависимости количества отложенной икры от площади локальных нерестилищ и средней ПО на них по данным съёмок отдельных лет. По данным последней съёмки 2020 г. (рис. 4), выявленные особенности в целом повторяются: связь количества отложенной икры и площади локальных нерестилищ чрезвычайно тесна ($\alpha = 6,62 \pm 0,4$, $R^2 = 0,94$, $p < 0,0001$), а та же самая связь со средней ПО на нерестилищах очень слаба и статистически незначима ($\alpha = 1,6 \pm 1,21$, $R^2 = 0,09$, $p = 0,19$).

Анализ параметров линейной регрессии зависимости «площадь нерестилищ — количество икры» за годы наблюдений (табл. 2) показывает, что увеличение площади локального нерестилища на каждый квадратный километр даёт прирост в среднем почти на 5 трлн отложенных икринок. Угловые коэффициенты наклона линии регрессии α мало отличаются год от года, коэффициент их вариации мал. Средний коэффициент детерминации R^2 весьма высок. Год от года коэффициенты детерминации, как правило, весьма стабильны — они отличаются минимальным коэффициентом вариации. В то же время, коэффициенты вариации показателей линейной регрессии зависимости «ПО — количество икры», очень высоки. Результаты одновыборочного теста Вилкоксона показывают, что межгодовые изменения угловых коэффициентов регрессии и коэффициентов её детерминации для обоих показателей статистически незначимы.

Анализ зависимостей количества отложенной икры от площади локальных нерестилищ и их ПО за все годы наблюдений показывает разное каче-

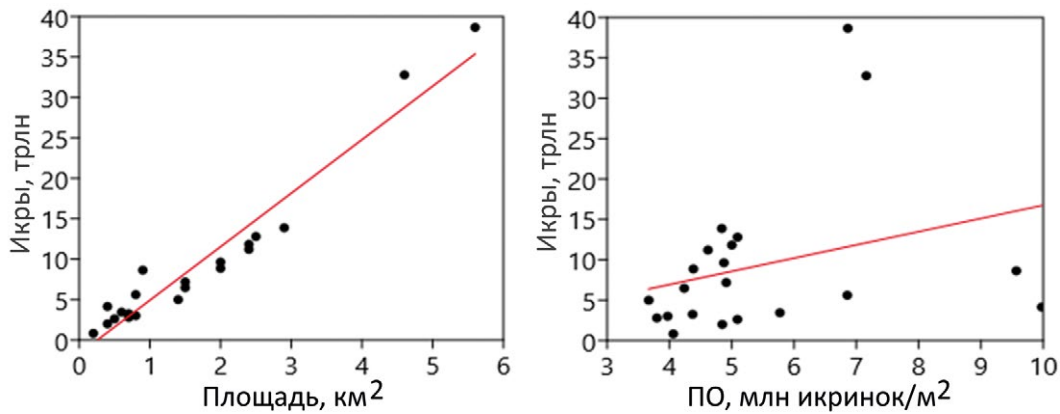


Рис. 4. Зависимости количества откладываемой икры от площади нерестилищ и средней ПО на них в 2020 г.

Fig. 4. Dependences of deposited herring roe quantity on the area of spawning grounds and the average roe density on them in 2020

Таблица 2. Межгодовая динамика параметров линейной регрессии площади нерестилищ и ПО

Table 2. Interannual dynamics of linear regression parameters of herring spawning ground area and roe density

Год	Зависимость площади нерестилищ от количества икры		Зависимость средней ПО от количества икры	
	α	R^2	α	R^2
2008	4,7	0,86	1,6	0,36
2009	5,3	0,96	1,4	0,07
2010	6,3	0,9	0,9	0,17
2011	4,6	0,96	0,44	0,25
2012	4,4	0,91	1,1	0,17
2013	4,6	0,92	1,43	0,37
2014	3,18	0,72	1,4	0,08
2015	4,2	0,98	1,4	0,55
2017	4,5	0,98	3,12	0,3
2018	4,9	0,99	4	0,38
2019	5,18	0,95	5,71	0,48
2020	6,3	0,9	0,9	0,17
Тест Вилкоксона, p	0,56	0,75	0,59	0,69
Коэф. вариации	17,8	8,1	79	55
Среднее $\pm$ ст. ошибка	4,8 $\pm$ 0,25	0,92 $\pm$ 0,02	2 $\pm$ 0,44	0,28 $\pm$ 0,04

ство этих моделей (рис. 5). В отличие от ранее рассмотренных линейных, зависимость количества икры от площади локальных нерестилищ по многолетним данным (рис. 5, слева) приобретает степенной характер ($y = 0,41x^2 + 3,27x + 0,46$). Зависимость количества икры от площади локальных нерестилищ выражена очень сильно ($R^2 = 0,87$; $F = 1182,8$; $p < 0,0001$). Такая же зависимость от плотности (рис. 5, справа) тоже приобретает степенной характер ($y = -0,12x^2 + 2,47x - 3,87$), однако она, хотя и статистически значима, но выражена плохо и имеет малый коэффициент детерминации ($R^2 = 0,14$; $F = 28,7$; $p < 0,0001$). Инте-

ресна связь средней ПО локальных нерестилищ и их площади (рис. 5, в центре). Её уместно описать в виде линейной зависимости, рассмотрев параметры её регрессии ($\alpha = 0,22 \pm 0,08$, $R^2 = 0,02$, $p = 0,02$). Регрессия статистически значима, однако её угловой коэффициент мал: увеличение площади локального нерестилища на каждый квадратный километр даёт прирост средней ПО на 0,2 млн икринок/м² при среднемноголетней ПО, равной 4,17 млн икринок/м². Нерестилища малой площади отличаются широким размахом ПО (0,3–12 млн икринок/м²), в то время, как на больших нерестилищах этот показатель более стабилен

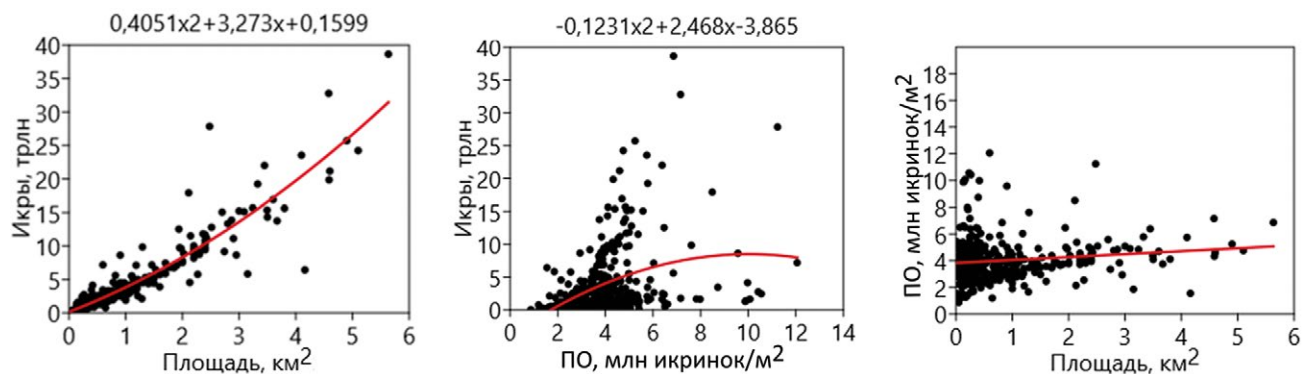


Рис. 5. Зависимости между количеством отложенной икры, площадью локальных нерестилищ и средней ПО на них по данным 2008–2020 гг.

Fig. 5. Dependencies between deposited herring roe quantity, the area of local spawning grounds and the average roe densities on them according to the 2008–2020 data

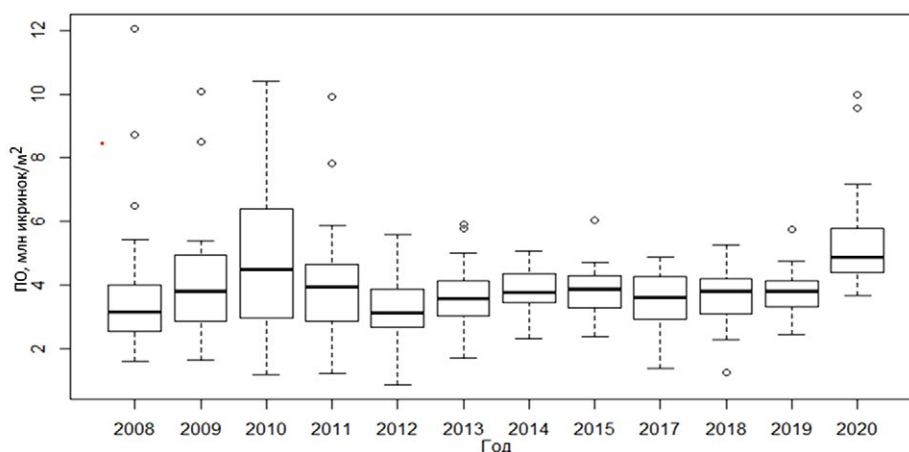


Рис. 6. Распределение ПО на всех локальных нерестилищах, учтенных в отдельные годы

Fig. 6. Distributions of roe density at all the local spawning grounds in different years

(2–7 млн икринок/м²). Коэффициент вариации ПО за годы наблюдений (14,1%) невелик.

Средняя ПО (5,66 млн икринок/м²) в сверхурожайном 2020 г. была на четверть выше среднегогодового значения (4,17 млн икринок/м²). Средние значения ПО в разные годы близки, однако распределения имеют значительное количество выбросов (рис. 6).

Результаты проверки распределения ПО локальных нерестилищ разных лет на наличие значимых различий с помощью множественного критерия Краскела-Уоллиса ($\chi^2 = 40,549$; $df = 11$; $p < 0,0001$) позволяют констатировать наличие статистически значимых различий между распределениями плотности в разные годы. Результаты теста Вилкоксона с поправкой Бонферони показывают, что они обусловлены распределением ПО сверхурожайного поколения ПО 2020 г. (табл. 3). После исключения данных 2020 г. результаты повторного сравнения с помощью множественного критерия Краскела-Уоллиса ($\chi^2 = 17,48$; $df = 10$; $p < 0,06$) подтверждают отсутствие статистически значимых различий в остальном массиве данных.

Аналогично, ПО на отдельных нерестилищах по данным 2008–2020 гг. варьируется в широких пределах довольно хаотично (рис. 7), при этом из всех показанных нерестилищ ПО значительно отличаются от генеральной совокупности только на трёх (у р. Лантарь, у м. Мусикан и в бух. Ларганда). Примечательно, что на крупнейших нерестилищах в зал. Алдома и губе Ейриной средние показатели ПО практически одинаковы.

Поскольку ПО слабо связана с другими параметрами, имеет смысл попытаться использовать другой показатель, который отражал бы количество отложенной на субстрат икры, например МДИ (%) на макрофитах. Целесообразно рассмотреть его динамику (рис. 8). Хорошо видно, что межгодовая динамика МДИ выражена слабо ($\alpha = 0,49 \pm 0,2$; $R^2 = 0,38$; $p = 0,03$). Тренд, хотя и статистически значим, но имеет низкий коэффициент детерминации. Величина углового коэффициента наклона линии регрессии мала и означает, что МДИ увеличивается менее, чем на 0,5% в год. Связь МДИ с количеством отложенной икры близка к статистически значимой, но также слаба ($\alpha = 0,04 \pm 0,02$;

Таблица 3. Результаты множественного сравнения распределений ПО за 12 лет с помощью теста Краскела-Уоллиса (поправка Бонферони: $p^* = 0,05 / 12 = 0,00417$)

Table 3. Results of multiple comparisons of the roe density distributions during 12 years using the Cruscal-Wallis test (Bonferoni's correction: $p^* = 0.05 / 12 = 0.00417$)

Год	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2017	2018	2019	2020
Значение p	0,01638	0,87992	0,01538	0,96253	0,01223	0,13591	0,6996	0,79675	0,14144	0,28334	0,70632	0,00001

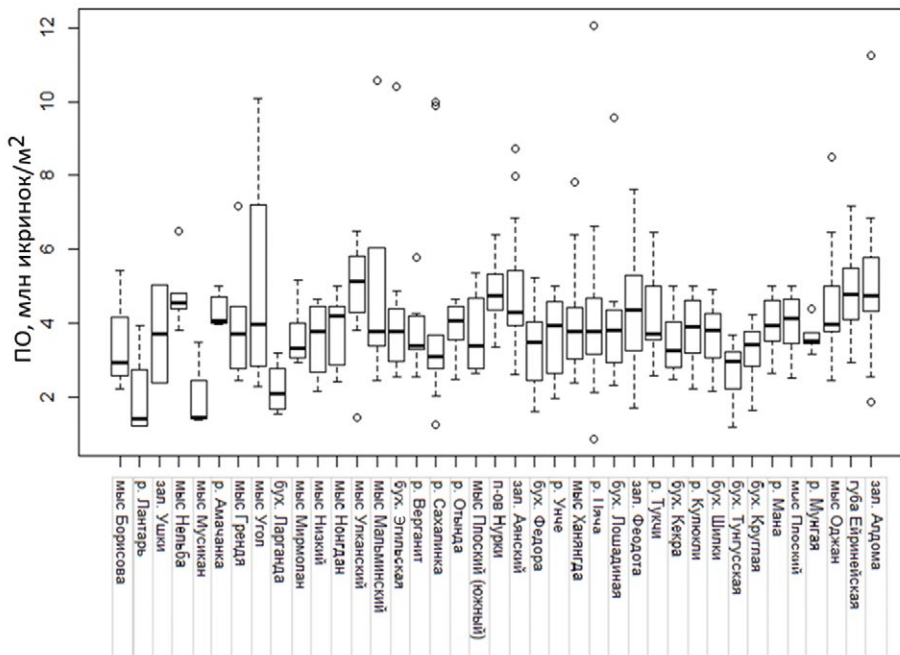


Рис. 7. Распределение ПО на основных нерестилищах по данным 2008-2020 гг.

Fig. 7. Distributions of roe density on local spawning grounds according to the 2008-2020 data

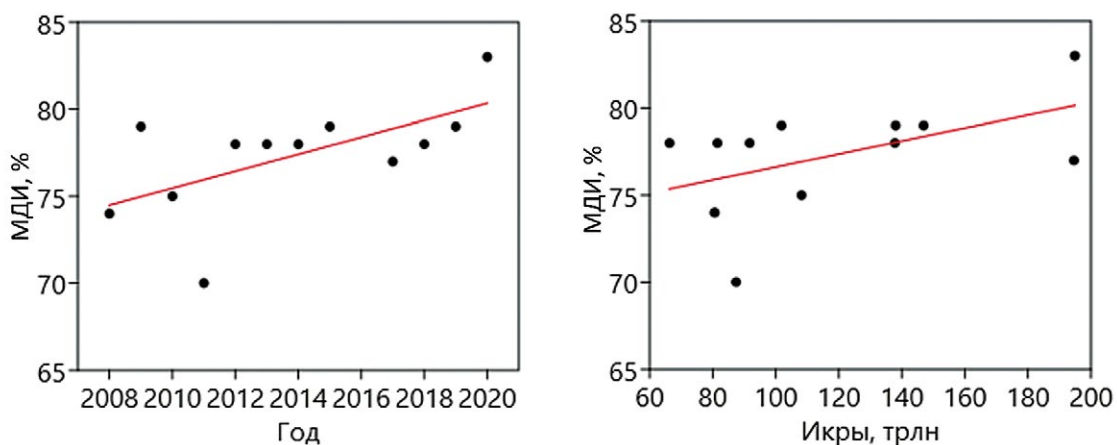


Рис. 8. Динамика среднееголетних значений МДИ на нерестилищах сельди

Fig. 8. Dynamics of average long-term roe mass fraction values on herring spawning grounds

$R^2 = 0,25$; $p = 0,09$). В 2020 г. средняя МДИ (83%) была на 6% выше среднееголетней (77%, соответственно). Коэффициент вариации МДИ за годы наблюдений (4,1%) был весьма низок.

Целесообразно рассмотреть распределение относительных показателей обьективности в пространстве.

Линии трендов этих показателей свидетельствуют о почти равномерном распределении их значений по глубине (рис. 9). Изменения ПО с глубиной в 2020 г. статистически незначимы ($\alpha = -0,22 \pm 0,14$; $R^2 = 0,008$; $p = 0,12$), а по многолетним данным ($\alpha = -0,06 \pm 0,03$; $R^2 = 0,001$; $p = 0,02$), хотя и статистически значимы,

но крайне невелики. Распределение МДИ с глубиной повторяет картину, выявленную для ПО: её средние значения почти не меняются с глубиной. В 2020 г. ($\alpha = -0,26 \pm 0,23$; $R^2 = 0,003$; $p = 0,25$) доля обикрения менялась в среднем лишь на четверть процента с каждым метром глубины. По многолетним данным ($\alpha = -0,1 \pm 0,1$; $R^2 = 0,0003$; $p = 0,28$) изменения еще менее выражены: доля обикрения снижается в среднем на 0,1% с каждым метром глубины. В обоих случаях изменения статистически незначимы.

Сами обикренные субстраты находятся преимущественно на мелководьях (рис. 9): 73% проб обикрения по данным 2020 г. и 79% проб по многолетним данным собраны с глубин не более 6 м. Наибольшее количество проб собраны с глубин 3–4 м.

Аналогичная картина наблюдается и в распределении этих показателей по географической широте. Их линии тренда располагаются почти параллельно оси x (рис. 10). В 2020 г. изменения значений ПО ($\alpha = -0,0005 \pm 0,22$; $R^2 < 0,0001$; $p = 0,99$) и МДИ ($\alpha = -0,5 \pm 0,28$; $R^2 = 0,05$; $p = 0,08$) по широте были статистически незначимы. Угловой коэффициент линии регрессии показывает, что ПО снижалась с каждым градусом широты на 500 икринок/м² при среднем значении 5,66 млн икринок/м², а МДИ – на 0,5%, при среднем значении 83,4%, соответственно. Эти за-

висимости по многолетним данным хотя и показывают статистическую значимость (ПО: $\alpha = -0,06 \pm 0,04$; $R^2 = 0,0006$; $p = 0,14$, МДИ: $\alpha = -0,47 \pm 0,11$; $R^2 = 0,002$; $p < 0,0001$), но имеют столь же пренебрежимо малую величину широтных изменений.

Результаты анализа взаимного вклада каждого показателя обикрения (табл. 4) в их общую изменчивость следует истолковывать таким образом, что ключевое влияние на прочие факторы оказывает площадь нерестилищ, весьма умеренное – МДИ и пренебрежимо малое – ПО.

Таблица 4. Результаты анализа параметров обикрения локальных нерестилищ по данным 2008–2020 гг. методом главных компонент

Table 4. Results of the PCA analysis of the herring roe quantity indices on local spawning grounds according to the 2008–2020 data

Главные компоненты	Собственное значение дисперсии	Объясняемый процент дисперсии
Площадь нерестилищ	56,2	86,4
МДИ	8,6	13,2
ПО	0,3	0,4

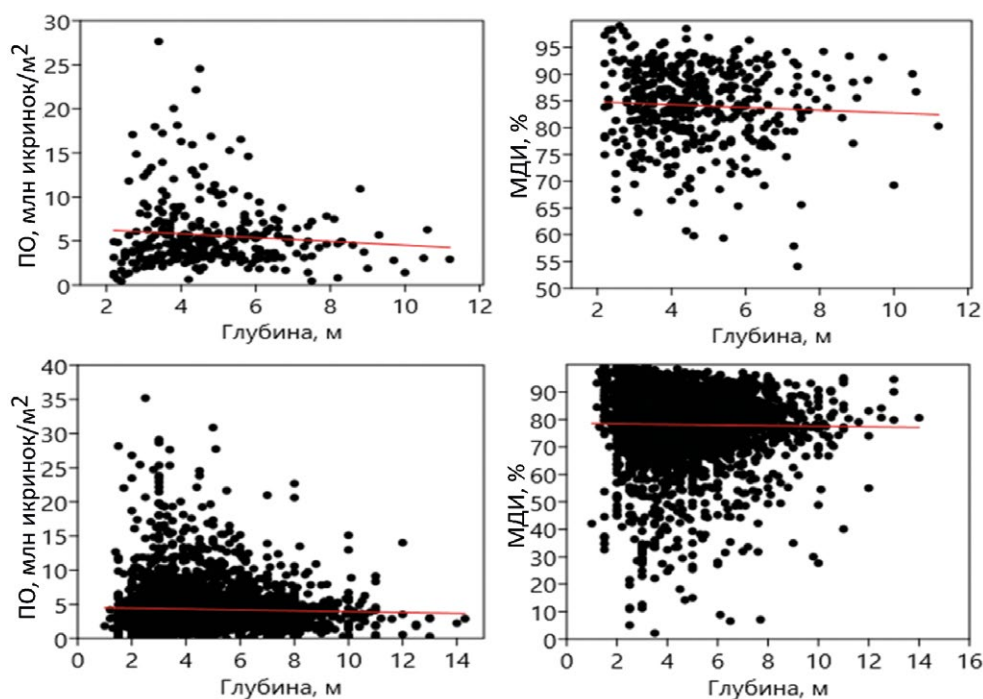


Рис. 9. Распределение показателей обикрения на нерестилищах сельди по глубине. Вверху – по данным 2020 г., внизу – по данным 2008-2020 гг.

Fig. 9. Distribution of roe quantity indices in herring spawning grounds by depth. Above - according to the data 2020, below - according to the data 2008-2020

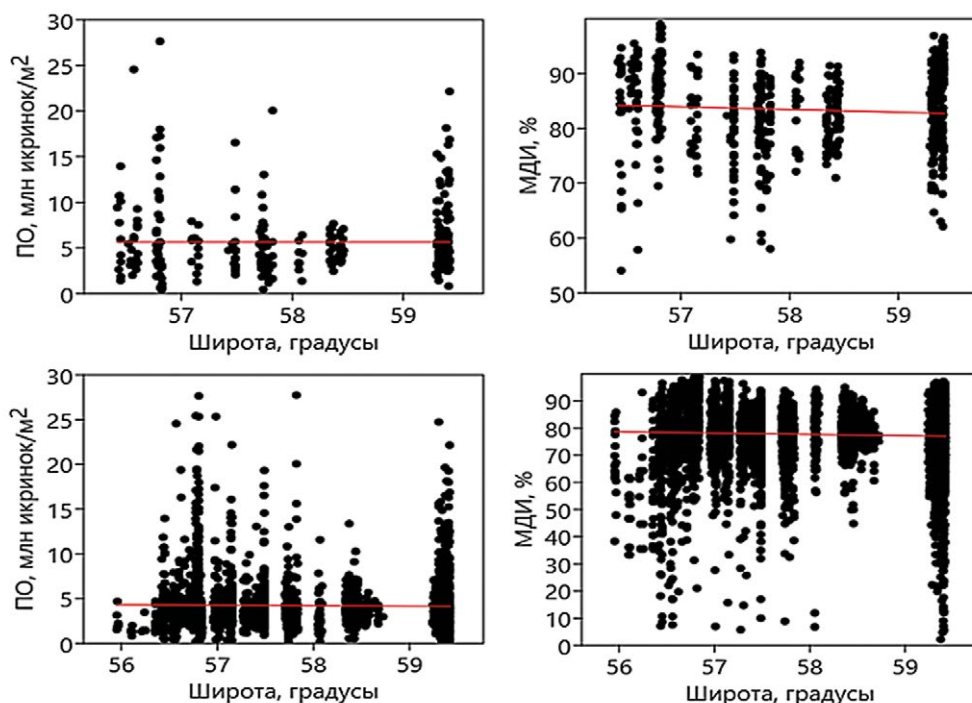


Рис. 10. Распределение показателей обикрения на нерестилищах сельди по широте. Вверху — по данным 2020 г., внизу — по данным 2010–2020 гг.

Fig. 10. Distribution of roe quantity indices in herring spawning grounds by latitude. Above — according to the data 2020, below — according to the data 2010–2020

Далее, если количество отложенной икры зависит от площади нерестилищ столь сильно, как показано выше (см. выше, рис. 5 слева), есть смысл проверить, как результаты расчёта количества отложенной икры по уравнению зависимости от площади соотносятся с расчётами по классической методике икорных съёмок. В целом графики хорошо соответствуют друг другу (рис. 11). Средняя и максимальная величины разности составляют для расчёта по пло-

щади 11 и 22%, для расчёта по площади с поправкой на МДИ — 12 и 23%, а для расчёта по площади с поправкой на ПО — 6 и 19%, соответственно. В абсолютных цифрах наиболее существенную разницу в расчётах показали результаты вычисленные стандартным методом и по площади в 2020 г.: расхождение составило 37 трлн икринок. Однако, в относительных показателях это расхождение равно 19% и не является максимальным.

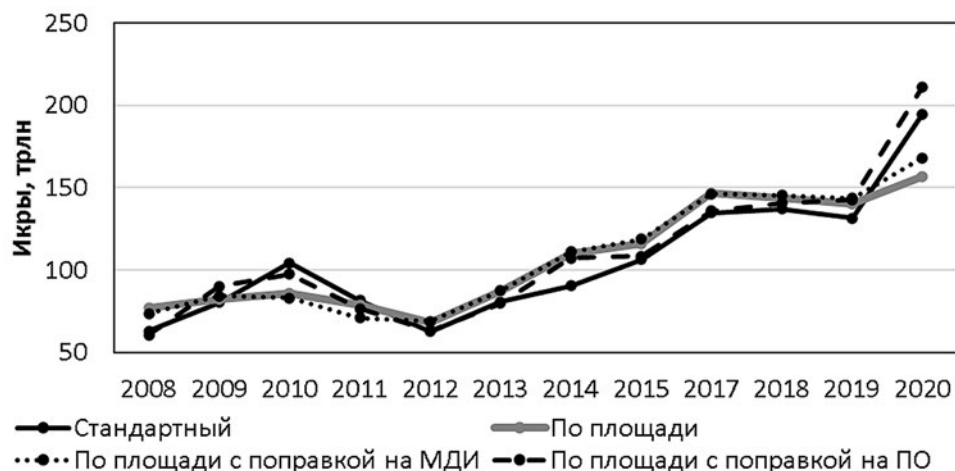


Рис. 11. Результаты расчёта разными способами количества отложенной на нерестилищах икры

Fig. 11. Results of calculation for deposited on spawning grounds herring roe quantity by different methods

Результаты расчётов стандартным методом весьма тесно коррелируют с результатами расчётов по площади ($r_s = 0,94$), по площади с поправкой на МДИ ($r_s = 0,9$) и площади с поправкой на ПО ($r_s = 0,94$). Уровень статистической значимости всех корреляций весьма высок ($p < 0,0001$).

ОБСУЖДЕНИЕ

Предпринимая настоящее исследование, авторы выдвинули гипотезу о том, что если пояс донных макрофитов является основным нерестовым субстратом сельди, то количественные закономерности распределения обикрения в целом должны повторять те, что выявлены для пояса макрофитов, который имеет черты стабильности своих количественных показателей в пространстве и времени [Дуленин, 2015; 2016; 2017]. Иными словами, априори следовало полагать, что и обикрение должно относительно равномерно распределяться в пространстве (в широтном направлении и по глубине) и иметь черты стабильности во времени. Однако, первые проанализированные нами данные не соответствуют этой гипотезе (рис. 2): площадь нерестилищ и количество откладываемой на нерестилищах икры в последние десятилетия растут вместе с ростом ЧНЗ. При всем том стабильность во времени демонстрирует ПО, значительное превышение которого по сравнению со среднемноголетним отмечено только в сверхурожайном 2020 г.

Поскольку для расчёта количества икры и ЧНЗ стандартным методом используются два показателя: площадь нерестилищ и ПО, обсудим связь каждого из них с количеством икры и ЧНЗ по обобщённым данным съёмок разных лет, чтобы выяснить, какой из этих показателей лучше связан с количеством отложенной икры (рис. 3). Ранее Р.К. Фархутдинов⁵ указывал, что по данным 1968–2004 гг.: «Существует очень тесная зависимость плотности кладок икры от общего количества производителей. Связь между площадью нерестилищ и численностью родительского стада менее тесная ...». Позднее С.Д. Пономарев [2012] по данным, полученным уже включительно до 2011 г., показал наличие тесной связи площади нерестилищ и ЧНЗ. Очевидно, различия в оценке связи этих показателей обусловлены тем, что большая часть проанализированных Р.К. Фархутдиновым данных собрана в период депрессивного состояния популяции сельди (с 1970-х по начало 2000-х гг.), когда зависимость «ЧНЗ-площадь» была слабо выражена. Хорошую же связь между ПО и ЧНЗ, показанную Р.К. Фархутдиновым,

следует объяснять тем, что по его наблюдениям: «при низкой численности наблюдается локализация подходов на отдельных нерестилищах, расположенных в основном в центре ареала».⁶ В холодные годы, когда нерестилища заняты льдом, сельдь вынуждена нереститься на свободные нерестилища в несколько подходов. Указанные особенности и обуславливают рост ПО в таких случаях. Однако С.Д. Пономарев проводил съёмки уже в период статистически значимого роста численности сельди и площади нерестилищ, что позволило ему более явно показать «площадную» зависимость. Кроме того, в XX веке площади определяли без использования спутниковой навигации, с весьма приблизительной точностью, что существенно ухудшало возможности оценки связи обсуждаемых показателей, а С.Д. Пономарев уже использовал как спутниковую навигацию, так и программные средства оконтуривания нерестилищ. В настоящее время площади определяют ещё более точно благодаря использованию подводной привязной видеотехники [Дуленин, Кудревский, 2019; Madsen, Wersal, 2017]. Далее, для картирования нерестилищ традиционно используют аэрофотосъёмку [Фархутдинов, 2007]. Её точность очень значительно повышается при использовании беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), позволяющих получить геореферированные фотоснимки [Бузмаков и др., 2016]. Современные потребительские БПЛА позволяют обследовать участки протяжённостью до 5–10 км и площадью до 1–5 км² за каждый вылет [Дуленин и др., 2021], что соотносится с площадью крупных локальных нерестилищ. Это позволяет рассчитывать, что использование современных технических средств при проведении икорных съёмок позволит точнее оценивать площади нерестилищ и выявлять имеющиеся зависимости более чётко.

В связи с ростом ЧНЗ имеет смысл рассмотреть «площадные» и «плотностные» зависимости по данным, полученным к настоящему времени (рис. 3–5). Поскольку использованные нами данные свидетельствуют, что ЧНЗ и количество икры сильно связаны с общей площадью нерестилищ, это позволяет высказать предположение, что площадь нерестилищ можно саму по себе использовать для расчёта численности родительских поколений и количества отложенной икры. В то же время относительно постоянные среднемноголетние значения ПО (рис. 2), не имеют значимой связи с количеством икры и ЧНЗ (рис. 3–5), что снижает их ценность.

Логично предположить, что отмеченные закономерности будут выражены сильнее на множестве локальных нерестилищ. Это действительно так: при рас-

⁵ Фархутдинов Р.К. 2005. Экология воспроизводства, динамика численности и состояние запасов охотской сельди. Дисс. канд. биол. наук. Хабаровск: ХФТИНРО. С. 101.

⁶ Там же. С. 34.

смотреии локальных нерестилищ в отдельные годы (рис. 4, табл. 2) видно, что коэффициенты детерминации зависимости количества отложенной икры от площади нерестилищ всегда очень высоки, а от ПО — низки. Средняя величина коэффициента детерминации для «площадной» зависимости в 3 раза выше, чем для «плотностной». Кроме того, тот факт, что межгодовые изменения параметров линейной регрессии для «площадной» зависимости имеют малые значения коэффициента вариации, а для «плотностной» — большие, говорят о том, что характеристики первой зависимости относительно постоянны и составляют элементы стабильности экосистемы. Вероятно, они могут служить индикаторами условий нереста или качества съёмки. То есть, если угловой коэффициент наклона линии регрессии или коэффициент детерминации будут отличаться от среднего значения более, чем на коэффициент вариации, это должно давать повод более внимательно проанализировать результаты съёмки. В то же время параметры линейной регрессии зависимости «ПО-количество икры» из-за своей нестабильности для использования в качестве такого индикатора не годятся.

Стабильность во времени параметров линейной регрессии и высокие значения коэффициентов детерминации для зависимости «площадь-количество икры» дают основания объединить данные по локальным нерестилищам за все годы наблюдений, чтобы получить итоговую зависимость по многолетним данным (рис. 5, слева). Эта зависимость наиболее пригодна для расчёта количества отложенной икры на локальных нерестилищах. Её степенной характер довольно легко поддается биологическому истолкованию: наибольшее количество икры откладывается на самых крупных нерестилищах (зал. Алдома, Ейринейская губа). Эти нерестилища закрытого типа, где благодаря защите от штормов достигается большая эффективность нереста [Пономарев, 2012]. Статистическая значимость зависимости роста ПО на крупных нерестилищах (рис. 5, справа) подтверждает этот тезис. Однако величина углового коэффициента показывает, что при росте площади локальных нерестилищ на каждый квадратный километр ПО увеличивается в среднем лишь на 4,8%, что для практики несущественно. Весьма слабая зависимость количества икры от ПО на локальных нерестилищах по многолетним данным (рис. 5, в центре), обуславливающая количество отложенной икры лишь на 14%, показывает, что ею при расчётах вполне можно пренебречь. Тот факт, что показатели ПО разных лет и большинства нерестилищ близки (см. рис. 6, 7) и статистически значимо не отличаются (см.

табл. 3), позволяет принять среднее значение ПО за постоянную величину.

Итак, при современном состоянии популяции охотской сельди, количество откладываемой икры сказывается прежде всего на площади нерестилищ, тогда как средние величины ПО остаются относительно постоянными, оказываясь значимо выше только в сверхурожайные годы. Это должно означать, что вновь подходящая на нерест сельдь скорее осваивает незанятые нерестовые субстраты, чем нерестится на занятых. Такое предположение подтверждается наблюдениями М.Н. Белого [2013], по данным которого, сельди для нереста требуется непосредственный контакт с субстратом. Представляется, что подобное нерестовое поведение вполне объясняет механизм избегания занятых субстратов и выбора свободных. Это вполне биологически оправдано, поскольку излишнее увеличение плотности кладок ведёт к гибели нижних слоёв икры и снижению эффективности нереста [Пономарев, 2012]. При том, даже максимальная задействованная площадь нерестилищ (43 км² в 2015 г.) составляет лишь 55% от их потенциальной площади. Иными словами, в настоящее время сельдь не испытывает дефицита нерестовых субстратов (по крайней мере, если нерестилища не закрыты льдом).

Если рост количества отложенной икры ведёт прежде всего к увеличению площади задействованных нерестилищ, следует предполагать, что распределение относительных показателей обикрения: ПО и МДИ в пространстве должно быть относительно стабильным. Действительно, Р.К. Фархутдинов отмечал, что: «При высокой численности стада заполнение всех нерестилищ равномерное»,⁷ хотя и не приводил их количественных характеристик. Такое наблюдение вполне подтверждается анализом как последних полученных, так и многолетних материалов (рис. 9, 10). Наиболее наглядный пример этого — практически одинаковые среднемноголетние ПО на крупнейших нерестилищах зал. Алдома и Ейринейской губы, находящихся в противоположных концах основной части нерестового ареала на расстоянии около 600 км друг от друга (рис. 7). Кроме того, полученные результаты подтверждают предположение, что характер пространственного распределения обикрения в целом соответствует характеру распределения растительных субстратов [Пономарев, 2012], также относительно стабильному в пространстве. Более высокая частота нереста на малых глубинах также легко объяснима: приуроченность нерестилищ к мелководьям уже отмечали Л.А. Галкина [1960] и М.Н. Белый [2013], связывая её с лучшим прогревом вод на мелководьях.

⁷ Там же, с. 35.

дях. Относительно постоянные средние значения ПО и МДИ на разных широтах означают равную общую интенсивность нереста на разных участках основной части нерестового ареала.

В целом, осмысливая закономерности, показанные Р.К. Фархутдиновым,⁸ С.Д. Пономаревым [2012] и нами, следует сделать вывод о том, что при тяжёлой ледовой обстановке, в условиях дефицита свободных ото льда нерестилищ, с увеличением численности подходов сельди закономерно растёт ПО. Однако в последние десятилетия, в связи с общей тенденцией к снижению ледовитости Охотского моря [Зуенко и др., 2018], ЧНЗ отражается прежде всего на площади нерестилищ, при этом обикрение на нерестилищах распределяется относительно равномерно как по широтному градиенту (в разных частях нерестового ареала), так и по глубине.

Тестовые расчёты количества отложенной икры (рис. 11) разными способами весьма удовлетворительно подтверждают эту закономерность: расчёт по уравнению зависимости количества отложенной икры от площади локальных нерестилищ даёт хорошие результаты, мало отличающиеся от результатов применения классического метода. Несмотря на то, что по сверхурожайному 2020 г. расчёты по площади дают существенное расхождение со стандартными, однако в целом они показывают наиболее высокий коэффициент корреляции. Такой же коэффициент корреляции показывают расчёты с поправкой на ПО. Полученные данные показывают принципиальные возможности расчёта количества икры разными способами, которые могут быть полезны при вычислениях прогнозных показателей или для их тестирования. Ясно, что такие возможности должны быть проверены на практике, по результатам дальнейших икорных съёмок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В последние десятилетия вместе с численностью родительских поколений сельди статистически значимо растут количество откладываемой на нерестилищах икры и площадь нерестилищ. Изменения количества отложенной сельдью на нерестилищах икры в настоящее время сказывается прежде всего на площади нерестилищ, во вторую очередь — на МДИ, откладываемой на растительность, и в последнюю очередь — на ПО. Коэффициенты детерминации зависимости количества икры на нерестилищах от их площади высоки и позволяют оценивать количество отложенной икры по площади нерестилищ. Величины ПО на современном этапе, в период тенденции к снижению ледовитости моря и высокой численности сельди, год от

года относительно постоянны и слабо связаны с количеством откладываемой икры. Средние значения ПО и МДИ мало изменяются с глубиной и широтой и весьма стабильны. Полученные результаты позволяют заключить, что в перспективе данные о количестве отложенной на естественных нерестилищах охотской популяции сельди икры можно получать по данным о площади этих нерестилищ. В ближайшие годы необходимо тестирование предложенных подходов и отработка методик уточнения оценки площади нерестилищ с использованием современных технических средств параллельно стандартным водолазным икорным съёмкам.

Благодарности

Авторы благодарят коллег по «ХабаровскНИРО» С.Д. Пономарева и А.С. Пономарева за предоставленные для анализа данные икорных съёмок и В.В. Свиридова за обработку картографических данных. Кроме того, авторы выражают свою искреннюю признательность рецензентам, замечания которых послужили более глубокому осмыслению полученных результатов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов.

Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания «ХабаровскНИРО» по теме «Оценка состояния, распределения, численности и воспроизводства водных биоресурсов и среды их обитания»

ЛИТЕРАТУРА

- Белый М.Н. 2008 а. Некоторые особенности использования нерестовых субстратов сельдью в северной части Охотского моря // Вопросы рыболовства. Т. 9. № 2 (34). С. 355–372.
- Белый М.Н. 2008 б. Некоторые особенности распределения икры сельди на поверхности нерестовых субстратов // Известия ТИНРО. Т. 153. С. 243–253.
- Белый М.Н. 2009. К методике проведения обследований нерестилищ сельди в северной части Охотского моря // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Вып. 15. С. 50–61.
- Белый М.Н. 2013. Водоросли-макрофиты северной части Охотского моря и их значение как нерестового субстрата сельди. Магадан: Новая типография. 194 с.

⁸ Там же, с. 34–102.

- Бенко Ю.К., Богаткин Ю.Н., Фархутдинов Р.К. 1987. Биологические основы применения искусственных нерестилищ для воспроизводства охотской сельди // Биология моря. Т. 1. С. 56–61.
- Бузмаков А.С., Санников П.Ю., Андреев Д.Н. 2016. Подготовка и применение материалов аэрофотосъёмки для изучения лесов // Известия Самарского научного центра РАН. Т. 18. № 2 (2). С. 313–316.
- Булгакова Т.И., Смирнов А.А. 2016. Сравнительный анализ методов оценки и прогнозирования состояния запасов сельди Охотского моря // Труды ВНИРО. Т. 163. С. 63–79.
- Вальтер Г. 1982. Общая геоботаника. М.: Мир, 261 с.
- Галкина Л.А. 1960. Размножение и развитие охотской сельди // Известия ТИНРО. Т. 46. С. 3–40.
- Дуленин А.А. 2015. Распределение сублиторальной растительности материкового побережья Охотского моря (в пределах Хабаровского края) // Известия ТИНРО. Т. 180. С. 107–127.
- Дуленин А.А. 2016. Оценка промысловых ресурсов и возможностей эксплуатации водорослевого пояса у материковых побережий Охотского моря в пределах Хабаровского края // Вестник КамчатГТУ. № 37. С. 39–49. DOI: 10.17217/2079–0333–2016–37–39–49
- Дуленин А.А. 2017. Некоторые методические проблемы водлазных гидробиологических учётных съёмок и пути их разрешения // Известия ТИНРО. Т. 170. С. 231–244. DOI: 10.26428/1606–9919–2017–190–231–244
- Дуленин А.А., Дуленина П.А., Коцюк Д.В., Свиридов В.В. 2021. Опыт и перспективы использования малых беспилотных летательных аппаратов в морских прибрежных биологических исследованиях // Труды ВНИРО. Том 185. С. 134–151. DOI: 10.36038/2307–3497–2021–185–134–151
- Дуленин А.А., Кудревский О.А. 2019. Использование лёгкого телеуправляемого необитаемого подводного аппарата для морских прибрежных гидробиологических исследований // Вестник КамчатГТУ. Вып. 48. С. 6–18. DOI: 10.17217/2079–0333–2019–48–6–17
- Жирков А.И. при участии Азовского А.И., Максимовой О.В. 2010. Жизнь на дне. Био-география и био-экология бентоса. М.: Товарищество научных изданий КМК. 453 с.
- Зуенко Ю.И., Асеева Н.Л., Глебова С.Ю., Гостренко Л.М., Дубинина А.Ю., Дулепова Е.П., Золотов А.О., Лобода С.В., Лысенко А.В., Матвеев В.И., Муктепавел Л.С., Овсянников Е.Е., Фигуркин А.Л., Шатилина Т.А. 2019. Современные изменения в экосистеме Охотского моря (2008–2018 гг.) // Известия ТИНРО. Т. 197(2). С. 40. DOI 10.26428/1606–9919–2019–197–35–61
- Миркин Б.М., Наумова Л.Г., Соломещ А.И. 2001. Современная наука о растительности. М.: Логос, 264 с.
- Пономарев С.Д. 2012. Развитие и выживаемость охотской сельди в период эмбриогенеза // Известия ТИНРО. Т. 171. С. 85–96.
- Суховеева М.В. 1976. Видовой состав и распределение макрופитов в районах размножения сельди у северо-западного побережья Охотского моря // Известия ТИНРО. Т. 100. С. 144–149.
- Тюрнин Б.В. 1967. К методике оценки запасов охотской сельди // Труды ВНИРО. Т. 62. С. 129–139.
- Тюрнин Б.В. 1973. Нерестовый ареал охотской сельди // Известия ТИНРО. Т. 86. С. 12–21.
- Фархутдинов Р.К. 2005. Экология воспроизводства, динамика численности и состояние запасов охотской сельди. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Хабаровск: ХФТИНРО. 22 с.
- Фархутдинов Р.К. 2007. Динамика ледовитости и сроки нереста охотской сельди // Известия ТИНРО. Т. 150. С. 180–188.
- Hammer Ø. 2018. PAST: Paleontological statistics. Version 3.20. Reference manual. Oslo: Natural History Museum. Univ. of Oslo. 262 p.
- Madsen J.D., Wersal R.M. 2017. A review of aquatic plant monitoring and assessment methods // J. Aquat. Plant Manage. V. 55. P. 1–12.

REFERENCES

- Belyy M.N. 2008 a. Some features of the of herring spawning substrates use in the northern Sea of Okhotsk // Voprosy rybolovstva. V. 9. № 2 (34). P. 355–372. (In Russ.)
- Belyy M.N. 2008 b. Some features of the herring eggs distribution of on the surface of spawning substrata // Izvestiya TINRO. V. 153. P. 243–253. (In Russ.)
- Belyy M.N. 2009. To the methodology of surveying herring spawning grounds in the northern part of the Sea of Okhotsk // The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and of the north-west part of the Pacific Ocean. V. 15. S. 50–61. (In Russ.)
- Belyy M.N. 2013. Algae-macrophytes in the northern part of the Sea of Okhotsk and their importance as a herring spawning substrata. Magadan: Novaya tipografiya. 194 p. (In Russ.)
- Benko Yu.K., Bogatkin Yu.N., Farkhutdinov R.K. 1987. Biological bases of the use of artificial spawning grounds for the Okhotsk herring reproduction // Biologiya morya. V. 1. P. 56–61. (In Russ.)
- Bulgakova T.I., Smirnov A.A. 2016. Comparative analysis of methods for assessing and predicting the state of herring stocks in the Sea of Okhotsk // Trudy VNIRO. V. 163. P. 63–79. (In Russ.)
- Buzmakov A.S., Sannikov P. Yu., Andreyev D.N. 2016. Preparation and application of aerial photography materials for the study of forests // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN. V. 18. # 2 (2). P. 313–316. (In Russ.)
- Walter G. 1982. General Geobotany. Moscow: Mir. 261 p. (In Russ.)
- Galkina L.A. 1960. Reproduction and development of the Okhotsk herring // Izvestiya TINRO. V. 46. P. 3–40. (In Russ.)
- Dulenin A.A. 2015. Distribution of sublittoral vegetation at the continental coast of the Okhotsk Sea (within the limits of Khabarovsk Region) // Izvestiya TINRO. V. 180. P. 107–127. (In Russ.)
- Dulenin A.A. 2016. Evaluation of resources and use opportunities for algal belt of the sea of Okhotsk continental coast within Khabarovsk Krai // Vestnik KamchatGTU. V. 37. P. 39–49. DOI: 10.17217/2079–0333–2016–37–39–49. (In Russ.)
- Dulenin A.A. 2017. Some methodical problems of SCUBA hydrobiological accounting surveys and the ways of their resolution // Izvestiya TINRO. V. 170. P. 231–244. DOI: 10.26428/1606–9919–2017–190–231–244. (In Russ.)

- Dulenin A.A., Dulenina P.A., Kotsyuk D.V., Sviridov V.V.* 2021. Experience and perspectives of small unmanned aerial vehicles utilization in marine coastal biological surveys // *Trudy VNIRO*. V.185. P. 134–151. DOI: 10.36038/2307–3497–2021–185–134–151. (In Russ.)
- Dulenin A.A., Kudrevskiy O.A.* 2019. The use of lightweight remote operated vehicle for marine coastal hydrobiological investigations // *Vestnik KamchatGTU*. V. 48. P. 6–18. DOI: 10.17217/2079–0333–2019–48–6–17. (In Russ.)
- Zhirkov A.I.* with the participation of *Azovsky A.I., Maksimova O.V.* 2010. Life at the bottom. Bio-geography and bio-ecology of benthos. M.: *Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK*. 453 p. (In Russ.)
- Zuenko Yu.I., Aseeva N.L., Glebova S. Yu., Gostrenko L.M., Dubinina A. Yu., Dulepova E.P., Zolotov A.O., Loboda S.V., Lysenko A.V., Matveev V.I., Muktepavel L.S., Ovsyannikov E.E., Figurkin A.L., Shatilina T.A.* 2019 Recent changes in the Okhotsk Sea ecosystem (2008–2018) // *Izvestiya TINRO*. V. 197 (2). P. 35–61. DOI 10.26428/1606–9919–2019–197–35–61. (In Russ.)
- Mirkin B.M., Naumova L.G., Solomeshch A.I.* 2001. Modern Vegetation Science. M.: Logos, 264 s. M.: Logos, 264 p. (In Russ.)
- Ponomarev S.D.* 2012. Development and survival rate of pacific herring at the stage of embryogenesis // *Izvestiya TINRO*. V. 171. P. 85–96. (In Russ.)
- Sukhovayeva M.V.* 1976. Species composition and distribution of macrophytes in herring breeding areas at the Sea of Okhotsk northwestern coast // *Izvestiya TINRO*. V. 100. P. 144–149. (In Russ.)
- Tyurnin B.V.* 1967. To the methodology for assessing stocks of Okhotsk herring // *Trudy VNIRO*. V. 62. P. 129–139. (In Russ.)
- Tyurnin B.V.* 1973. Spawning area of the Okhotsk herring // *Izvestiya TINRO*. V. 86. P. 12–21. (In Russ.)
- Farkhutdinov R.K.* 2005. Ecology of reproduction, population dynamics and state of the okhotsk herring stocks. Abstract of PhD in biology thesis. Khabarovsk: KhfTINRO. 22 p. (In Russ.)
- Farkhutdinov R.K.* 2007. Ice cover dynamics and timing of the okhotsk herring spawning // *Izvestiya TINRO*. V. 150. P. 180–188. (In Russ.)
- Hammer Ø.* PAST: Paleontological statistics. Version 3.20. Reference manual. 2018. Oslo: Natural History Museum. Univ. of Oslo. 262 p.
- Madsen J.D., Wersal R.M.* 2017. A review of aquatic plant monitoring and assessment methods // *J. Aquat. Plant Manage.* Vol. 55. P. 1–12.

Поступила в редакцию 09.03.2021 г.

Принята после рецензии 02.10.2021 г.

Промысловые виды и их биология

О резорбции ооцитов периода превителлогенеза у круглоротых и рыб

О.В. Зеленников

Санкт-Петербургский государственный университет (ФГБОУ ВО «СПбГУ»), Университетская наб., 7/9, г. Санкт-Петербург, 199034
E-mail: oleg_zelennikov@rambler.ru

Целью работы является анализ особенностей резорбции ооцитов периода превителлогенеза у круглоротых и рыб.

Используемый метод — обобщение собственных и литературных данных.

Новизна. Впервые систематизированы данные по резорбции ооцитов периода превителлогенеза.

Результаты. Согласно накопленным сведениям, ооциты этого периода являются устойчивыми к внешнему воздействию и не подвергаются резорбции даже перед непосредственной гибелью подопытных рыб. При этом факты резорбции отдельных ооцитов хорошо известны и связаны с их изначальной нежизнеспособностью. Такие клетки на первом этапе разрушения выделяются интенсивной окраской — пикноморфные клетки, а на заключительном этапе распадаются на отдельные фрагменты. Внешнее воздействие и связанный с ним энергетический дефицит лишь ускоряют разрушение таких клеток. При исследовании молоди лососевых рыб всех видов были выявлены многочисленные факты потери формы ооцитами периода превителлогенеза. Поскольку разрушения таких клеток не происходит, и в дальнейшем не наблюдается уменьшения их количества, можно полагать, что такое сжатие является артефактом гистологической обработки. Вместе с тем массовая резорбция ооцитов периода превителлогенеза описана и является начальным этапом либо формирования величины абсолютной плодовитости при переходе к другой жизненной форме, либо сокращения числа особей у вида с циклической динамикой численности.

Практическая значимость. Результаты проведенного анализа дадут основание авторам с разных позиций рассматривать факты изменения формы ооцитов периода превителлогенеза при проведении как экспериментальных, так и полевых исследований. Можно полагать, что внешнее экстремальное, но относительно кратковременное воздействие на молодь рыб в период превителлогенеза не приведёт у них к изменению величины абсолютной плодовитости.

Ключевые слова: рыбы, ооциты периода превителлогенеза, резорбция ооцитов.

About resorption of previtellogenesis oocytes in cyclostomes and fish

Oleg V. Zelennikov

St. Petersburg State University («PSbSU»), 7/9, University emb., St. Petersburg, 199034, Russia

The aim of work is to analyze the features of previtellogenic oocyte resorption in cyclostomes and fish.

The method used is a generalization of our own and literature data.

Novelty. For the first time, the data on the resorption of previtellogenic oocytes have been systematized.

Results. According to the accumulated data, oocytes of this period are resistant to external influences and do not undergo resorption even before the immediate death of the experimental fish. At the same time, the facts of resorption of individual oocytes are well known and are associated with their initial non-viability. At the first stage of destruction, such cells are distinguished by an intense color — pycnomorphic cells, and at the final stage they disintegrate into separate fragments. External influence and the associated energy deficit only accelerates the destruction of such cells. When studying juveniles of salmonids of all species, numerous facts of loss of shape by previtellogenic oocyte were revealed. Since the destruction of such cells does not occur, and no further decrease in their number is observed, it can be assumed that such compression is an artifact of histological processing. At the same time, mass resorption of previtellogenic oocyte has been described and is the initial stage of either the formation of the value of absolute fecundity during the transition to another life form, or a reduction in the number of individuals in a species with cyclical population dynamics.

Practical significance. The results of the analysis will give the authors a basis from different positions to consider the facts of changes in the shape of previtellogenic oocytes during both experimental and field studies. It can be assumed that external extreme, but relatively short-term impact on juvenile fish during previtellogenesis will not lead to a change in the value of absolute fecundity.

Keywords: fish, previtellogenic oocytes, resorption of oocytes.

Об изученности ооцитов периода превителлогенеза и вителлогенеза у круглоротых и рыб

Репродуктивная система рыб в целом и развитие половых клеток в частности давно и всесторонне исследуются специалистами в связи с анализом самых разных биологических проблем и особенно в последние годы в связи с увеличением работ экологической направленности. Как известно, в своём развитии ооциты проходят пять периодов — индифферентный, ранней профазы мейоза, превителлогенеза, вителлогенеза и созревания [Чмилевский, 2003] из которых периоды превителлогенеза и вителлогенеза являются самыми продолжительными. Из этих двух периодов несоизмеримо лучше изучены ооциты периода вителлогенеза, чему в значительной степени способствуют два главных обстоятельства. Во-первых, ооциты этого периода за редким исключением имеют диаметр от 300 мкм и более и поэтому вполне доступны даже для визуального изучения и подсчёта. Во-вторых, при работе с этими ооцитами специалисты анализируют один из главных показателей в репродуктивной биологии — величину абсолютной плодовитости, лежащий в основе оценки динамики численности рыб. И конечно хорошо изучена резорбция ооцитов периода вителлогенеза и причины её вызывающие. Главная закономерность здесь такова. В период превителлогенеза у рыб всех видов наблюдается перепроизводство ооцитов как возможный резерв, призванный обеспечить максимально возможную для особей данного вида абсолютную плодовитость. Чем более комфортными будут условия нагула для рыб в текущем репродуктивном цикле, тем больше ооцитов, перешедших в период вителлогенеза, достигнет дефинитивного состояния. Напротив, чем менее благоприятные условия, например, выраженная пищевая конкуренция, сложатся в текущем цикле, тем большее число ооцитов, перешедших в период вителлогенеза, будет подвергнуто резорбции [Анохина, 1969]. Таким образом, резорбция ооцитов периода вителлогенеза (трофоплазматического роста) является обычной и, фактически, запланированной в онтогенезе каждой особи.

Ооциты периода превителлогенеза являются качественно иными и изучены несоизмеримо менее подробно. Можно полагать, что это объясняется теми же двумя причинами, описанными выше. Во-первых, диаметр ооцитов периода превителлогенеза варьирует от 20 до 300 мкм и их визуальное изучение является малоинформативным. Во-вторых, они находятся «значительно дальше» от непосредственного практического применения, чем ооциты периода вителлогенеза.

О резорбции ооцитов периода превителлогенеза при воздействии внешних факторов

Поскольку в онтогенезе рыб перепроизводство ооцитов наблюдается именно в период превителлогенеза, то представляется весьма вероятным, что при внешнем, например, токсическом воздействии эти клетки могут быть подвергнуты резорбции. И действительно, к настоящему времени в научной литературе есть много работ, в которых авторы указывают на массовую резорбцию ооцитов периода превителлогенеза. Однако обращает на себя внимание следующий факт. Все эти работы выполнены на рыбах, пойманных в естественной среде, как правило, на объектах промысла, и очень часто в регионах, где в связи с производственной деятельностью очень остро стоит проблема загрязнения окружающей среды. Такие исследования с указанием на резорбцию превителлогенных ооцитов были выполнены на рыбах Каспийского бассейна [Романов и др., 2001], водотоков и озёр Заполярья [Решетников и др., 1999; Шарова и др., 2003], сибирских рек [Акимова, Рубан, 1996; Рубан, 2017], регионов для которых известно радиационное загрязнение [Веригин и др., 1996; Петриков и др., 1997; Петухов, Петриков, 1997; Белова и др., 2001; 2007] и других [Емельянова и др., 2014; Дубинина, Золотов, 2015; Сергеева, 2016].

Вместе с тем, в многочисленных экспериментальных работах как лабораторных, так и производственных, где рыбы находились в условиях голодания, повышенной и пониженной температуры или токсическом воздействии авторы не указывают на массовую резорбцию ооцитов периода превителлогенеза [Корниенко и др., 1996; Таликина, 1998; Чмилевский, 1998; Кузнецов и др., 1999; Рубан, Акимова, 2001; Зеленников и др., 2019, и др.]. Этот факт, предположительно, можно рассмотреть с двух точек зрения. С одной стороны, экспериментальные данные, конечно, являются не вполне сопоставимыми с данными при анализе природной ситуации. Ведь в эксперименте автор, как правило, использует один фактор. В природе же на рыб действует комплекс факторов, например, комплекс токсических соединений. Для обозначения этого явления в литературе был даже предложен отдельный термин — «политоксикоз», а для определения длительного или хронического воздействия — «кумулятивный политоксикоз» [Kornienko et al., 1997; Журавлева, Земков, 2000].

Однако, с другой стороны, возникают вопросы к тому, как авторы, при исследовании рыб в природной среде, выявляют резорбцию ооцитов, особенно, если учесть, что специалист, исследуя рыб в заведомо

загрязнённой токсикантами акватории, изначально оказывается «настроенным» на поиск морфологических нарушений [Акимова и др., 2000].

Например, мы, исследуя ооциты периода превителлогенеза у разных видов рыб, обязательно сталкивались со следующим явлением. При достижении ооцитами старшей генерации диаметра около 200 мкм, у некоторых из них наблюдается деформация или сжатие с потерей обычной для клеток эллипсоидной формы. Причём такие клетки могли быть единичными или многочисленными (рис. 1 А, Б). Часто такая форма

клеток была тотальной. В литературе есть много работ, где такая морфология ооцитов у рыб, исследованных в природных условиях, трактуется, как признак начального этапа их массовой резорбции [Акимова, Рубан, 1996; Емельянова и др., 1996; Дуркина, Черкасова, 2007, и др.]. Этому выводу, конечно, способствует то обстоятельство, что деформированные клетки присутствуют рядом с клетками, для которых такое изменение формы не отмечено.

Вероятно, в каждом случае могут быть свои причины подобных деформаций. Мы же, исследуя рыб,

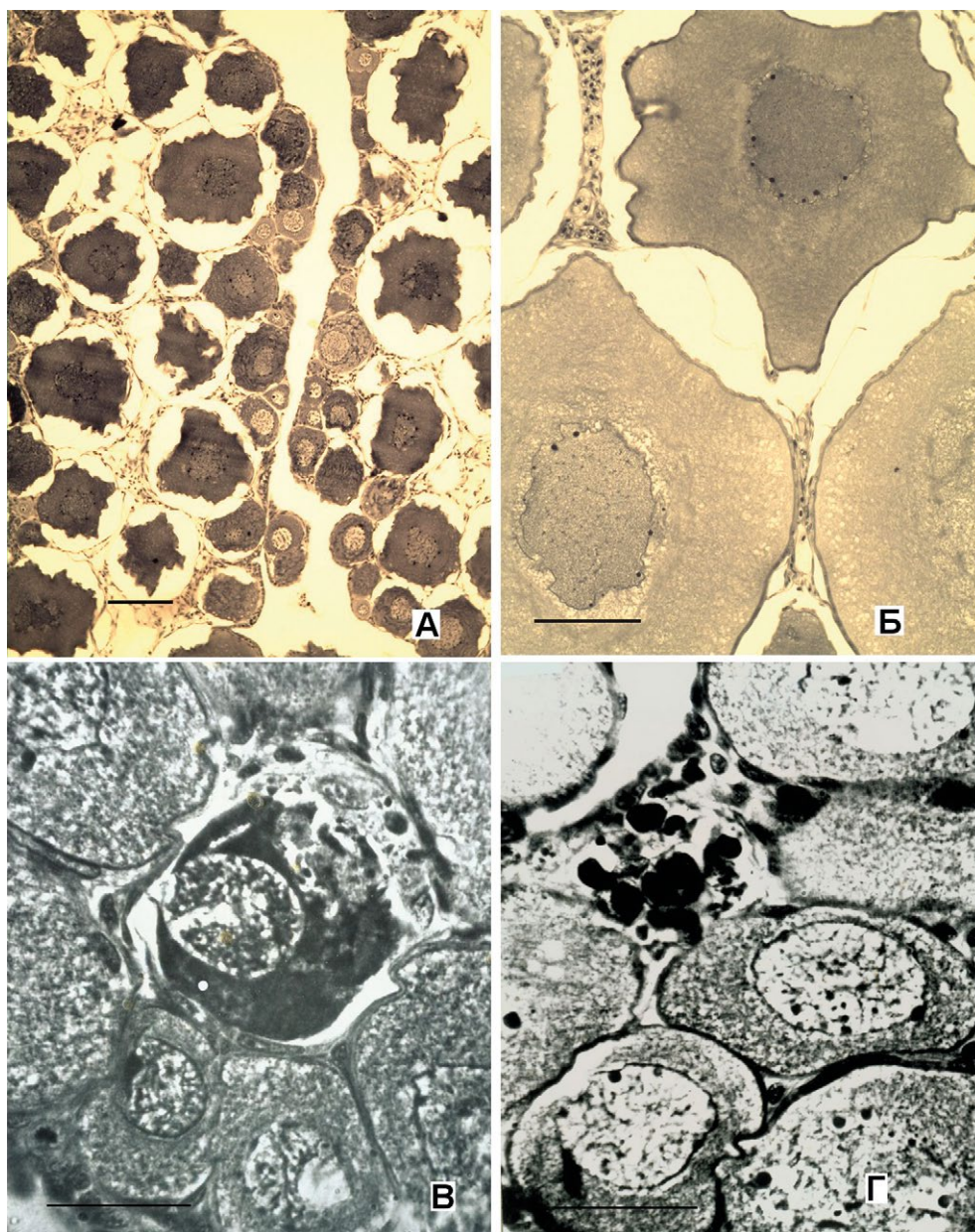


Рис. 1. Изменение формы ооцитов периода превителлогенеза у самок радужной форели (А) и симы (Б). Резорбция ооцитов периода превителлогенеза на начальной (В) и завершающей (Г) стадии. Шкала А, В, Г = 0,05; Б = 0,1 мм

Fig. 1. Changes in the shape of oocytes during previtellogenesis in female rainbow trout (А) and Sima (Б). Resorption of oocytes during previtellogenesis at the initial (С) and final (D) stages. Scale bar А, В, D = 0,05; Б = 0,1 mm

в том числе в течение полного периода от начала превителлогенного роста ооцитов до полового созревания, не можем рассматривать такую форму ооцитов как указание на начало их резорбции. Во-первых, с подобной картиной мы сталкивались, исследуя ход развития гонад у рыб всех видов, например, у форели в процессе её выращивания при температуре 19–20°C [Зеленников, Голод, 2019] и при более низкой температуре [Зеленников, 1999]. Во-вторых, в ходе периодических фиксаций при исследовании одной и той же партии рыб мы, безусловно, обнаружили бы не только начальные, но и завершающие этапы резорбции ооцитов с распадением клеток на фрагменты, тем более при такой массовой атрезии. В-третьих, деформация была характерна не для всех превителлогенных ооцитов, а только для клеток определённого размера. И, наконец, в-четвертых, исследуя рыб одной партии в течение полного репродуктивного цикла, мы, несомненно, выявили бы снижение числа ооцитов с возрастом.

Исследуя ооциты всех видов тихоокеанских лососей в естественной среде, мы также неизменно отмечали изменённый морфологический облик части из них [Зеленников, 2003 б; 2019; Зеленников и др., 2020]. Вообще, такие ооциты в большем или меньшем числе присутствуют в гонадах всех самок в возрасте 1+ и старше. Их принципиально отличает целостность формы даже с учетом резко деформированного контура (рис. 1 Б). Очевидно, частая встречаемость таких ооцитов, а также других морфологических отклонений в состоянии гонад и половых клеток стимулировала критический взгляд на трактовку их появления с позиции нарушений.

Например, «Критический обзор публикаций о нарушениях репродуктивной системы у осетровых» [Подушка, 2000], где подвергается сомнению резорбция ооцитов и предложено другое объяснение выявленным фактам.

Мы, анализируя деформированные ооциты и частоту их встречаемости, полагаем, что такие клетки являются артефактом фиксации. Можно полагать, что ооциты определённого размера (или состояния) в большей степени, чем другие клетки не изоосмотичны использованным фиксаторам.

Возвращаясь к обзору литературы, отметим изменения, которые наметились в последние 10–15 лет. Обозначилась ярко выраженная тенденция, согласно которой у рыб уменьшилась массовость различных морфологических отклонений. Эту тенденцию также можно рассмотреть с двух разных позиций.

Во-первых, во многих водных бассейнах произошло заметное очищение вод. Особенно заметным это

явление становится в регионах постоянного мониторинга, например, в акватории Азовского моря. Несомненно, этому способствовали принимаемые меры природоохранной направленности. Вслед за улучшением качества воды специалисты отмечают уменьшение массовости различных патологий у рыб, в том числе в плане состояния гонад [Бугаев и др., 2002], а уменьшение рыбопродуктивности трактуют с позиций действия других антропогенных факторов, например, уменьшения площадей заливных лугов вследствие гидростроительства [Подойницын, 2010].

Во-вторых, вероятно, изменился взгляд на трактовку отклонений в состоянии гонад как нарушений в их развитии. По крайней мере, в многочисленных работах, выполненных в акваториях по-прежнему значительно загрязнённых, где у рыб выявляются патологии в состоянии разных органов, именно состояние гонад, по мнению авторов, оказывается более благополучным [Таликина и др., 1996; Шарова, 1999; Акимова и др., 2000; Лукин, Шарова, 2002].

Вместе с тем, мы в гонадах рыб всех видов и возрастов и, фактически, у всех особей выявляли ооциты периода превителлогенеза, которые, на наш взгляд, действительно находились в состоянии резорбции и отчетливо выделялись. На первом этапе разрушения содержимое клеток уплотнялось и они приобретали облик пикноморфных тел, интенсивно окрашивающихся гематоксилином (рис. 1 В). На втором этапе эти клетки разрушались на отдельные фрагменты (рис. 1 Г). При этом резорбирующиеся ооциты периода превителлогенеза легко обнаруживались в гонадах благодаря относительно крупным размерам, поскольку располагались, как минимум, на 7–8 серийных срезах. Однако во всех случаях это были единичные клетки.

Для того чтобы оценить частоту встречаемости превителлогенных ооцитов в состоянии резорбции, провели специальную работу на молоди радужной форели. В ходе работы в возрасте 55 сут подсчитали все ооциты в состоянии резорбции у контрольных рыб и подопытных особей, которых в возрасте с 16 до 55 сут выдерживали при сублетальной кислотности. Установили, что на 3581 серийном срезе гонад всех контрольных рыб было обнаружено 56 ооцитов в состоянии резорбции (в среднем один на 63,9 среза), а на 2618 срезах гонад подопытных рыб — только 20 (один на 130,9 среза) [Зеленников, 2003 а]. При этом в яичниках контрольных самок клетки на начальной и завершающей стадиях резорбции составляли 32,1% и 67,9%, а у подопытных — 20,0% и 80,0%, соответственно. Таким образом, частота встречаемости ооцитов в состоянии резорбции в яичниках подопытных самок была меньше и большинство таких ооци-

тов находились на завершающих этапах разрушения. Очевидно, что кислотное воздействие не привело к нарастанию спонтанно и вяло идущей резорбции некоторой части превителлогенных ооцитов. Их крайне редкая встречаемость позволяет предположить, что отдельные половые клетки нежизнеспособны изначально, и их резорбция не связана с кислотным воздействием. Факторы, определяющие их нежизнеспособность, могли иметь, например, генетическую природу, а внешнее воздействие и связанный с ним энергетический дефицит ускорили процесс их деструкции.

О массовой резорбции ооцитов периода превителлогенеза в онтогенезе круглоротых и рыб

Вместе с тем, в развитии рыб есть варианты, когда именно массовая резорбция ооцитов периода превителлогенеза является обычным явлением и сомнений не вызывает.

Первый вариант хорошо известен для ряда видов непаразитических миног. Это массовая резорбция превителлогенных ооцитов как начальный этап формирования величины абсолютной плодовитости.

Второй вариант — массовая резорбция превителлогенных ооцитов как механизм сокращения числа особей у видов с циклической динамикой численности.

Рассмотрим эти варианты последовательно. Так, плодовитость у широко распространённого и наиболее исследованного вида миног, европейской речной миноги *Lampetra fluviatilis*, в среднем составляет около 15900–22584, варьируя, впрочем, в широком диапазоне — от 3297 до 42500 икринок [Hardisty, 1964; Кузнецов, 1986 и другие]. Как и все миноговые, она является ювенильным протогиническим гермафродитом, половая дифференцировка у которой осуществляется весной в конце первого года жизни при длине от 30 до 60 мм [Кузнецов 1986; Шильдяев и др., 2008]. В процессе дифференцировки пола около 75% от общего числа половых клеток подвергаются дегенерации [Hardisty, Potter, 1971], абсолютное большинство которых составляют ооциты периода ранней профазы мейоза. Иными словами, осуществляется тот процесс, который хорошо известен, например, у тихоокеанского лосося горбуши [Зеленников, 2021].

В специально проведённом исследовании [Kuznetsov et al., 2016] у личинок миноги длиной от 63 до 130 мм после завершения дифференцировки пола и формирования единственной генерации ооцитов периода превителлогенеза было подсчитано их общее число. В двух партиях личинок число ооцитов в среднем составило 19480 и 20830. При этом вели-

чина абсолютной плодовитости у половозрелых самок этой же популяции в среднем составила 21080 икринок. Можно видеть, что потенциальная плодовитость, подсчитанная у личинок, и абсолютная плодовитость, подсчитанная у взрослых особей, практически совпадали.

В свою очередь, непаразитическая европейская ручьевая минога *Lampetra planeri* Bloch имеет значительно меньшую плодовитость — в среднем 875–2014, при вариации от 330 до 3700 [Pletcher 1963; Кузнецов, 1986 и др.]. Казалось бы, меньшая плодовитость самок ручьевой миноги является естественной, поскольку и длина особей этой формы в 2–3 раза меньше, а связь величины абсолютной плодовитости с длиной тела у миног хорошо известна [Malmquist, 1978; Корр, 2017]. Вместе с тем, величина потенциальной плодовитости, подсчитанная у личинок длиной от 94 до 165 мм в среднем в двух партиях составила 6574 и 7335 шт., а величина абсолютной плодовитости была в 4 раза меньше — в среднем 1740 шт. [Kuznetsov et al., 2016]. Таким образом, если у анадромной речной миноги потенциальная и фактическая плодовитость практически совпадают, то у ручьевой миноги фактическая плодовитость составляет всего 25–26% от её потенциальной плодовитости. Столь резкое расхождение между этими значениями связано с дегенерацией большинства превителлогенных ооцитов.

Следует отметить, что это явление — массовая и обязательная в онтогенезе резорбция ооцитов периода превителлогенеза, давно известна в научной литературе [Weissenberg, 1927; Hardisty, 1965]. Оно прослежено и у других видов пресноводных непаразитических миног, предками которых в эволюции были более крупными паразитическими анадромными формами, например, у австралийской миноги *Mordacia praecox* [Hughes, Potter, 1969]. Для нашей же работы важно то, что взяв личинок ручьевой миноги определённого размера, мы обязательно встречаем многочисленные ооциты периода превителлогенеза в состоянии резорбции и можем проследить этапы этого процесса.

В яичнике личинок до появления видимых внешних изменений, характерных для начала резорбции, можно видеть ооциты разного размера и морфологического облика (рис. 2 А). Одни клетки являются более крупными и характеризуются светлоокрашенной цитоплазмой. Предположительно, именно эти клетки преимущественно вступают в период вителлогенеза и образуют единственную генерацию ооцитов этого периода. Другие клетки более многочисленны. Они характеризуются заметно меньшими размерами

и более тёмноокрашенной цитоплазмой. Можно было предположить, что преимущественно эти клетки будут подвергнуты резорбции.

Действительно, анализируя состояние гонад у личинок более позднего онтогенетического состояния, можно видеть значительные участки яичников, на которых отсутствуют половые клетки, а также ооциты на разных этапах разрушения (рис. 2 Б).

Второй вариант — резорбция ооцитов как механизм сокращения клеток у видов с циклической динамикой численности хорошо известен, например, для дальневосточной сардины (сардины-иваси). Её запас, оцениваемый в 1970-е гг. в 20 млн т., в 1990-е понизился в 200 раз, а промысел практически прекратился [Беляев и др., 1991; Пелагические рыбы, 2019]. Как известно, масштабное уменьшение численности сардины было спрогнозировано с учётом исторических данных 40-х гг. и на основании сокращения количества личинок сардины в планктоне [Беляев и др., 1991]. Однако ещё раньше снижению численности личинок предшествовала массовая резорбция ооцитов разных периодов развития у половозрелых самок, среди которых была заметной и массовая резорбция ооцитов периода превителлогенеза [Сакун, Свирский, 1992]. В настоящее время наблюдается начало нового цикла увеличения численности дальневосточной сардины и, как следствие этого, увеличение её вылова [Пелагические рыбы, 2019], и мы в ходе специального исследования не выявили резорбцию ооцитов периода превителлогенеза [Зеленников, Шнайдер, 2019].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По совокупности высказанных соображений мы можем сделать следующее заключение. Нет сомнений, что ооциты периода превителлогенеза могут быть подвергнуты резорбции. Если исключить возможные

артефакты фиксации и гистологической обработки, то можно утверждать, что возможна как резорбция отдельных ооцитов, так и их массовая резорбция. Вместе с тем полученные факты и данные литературы позволяют говорить, что массовая резорбция этих ооцитов возможна в связи с реализацией специфического жизненного цикла. Убедительных данных в массовой резорбции этих ооцитов при воздействии на рыб внешних факторов, на наш взгляд не имеется. В пользу такого высказывания свидетельствуют не только наши исследования, в ходе которых не удалось выявить массовую резорбцию ооцитов периода превителлогенеза, даже при массовой гибели подопытных рыб, в условиях токсического воздействия. Исключение составили ооциты самого начала этого периода, на наш взгляд, полноценно не вступивших в период превителлогенеза [Зеленников, 2021]. Нами не обнаружено ни одной публикации, в которой авторы, выполняя экспериментальное воздействие на рыб, указали бы на массовость резорбции превителлогенных ооцитов. Те же специалисты, которые исследовали ооциты как превителлогенеза, так и вителлогенеза, прямо указывают на то, что резорбция первых это редкое явление и реализуется значительно реже, чем резорбция вторых [Чмилевский, 1998; Miranda et al., 1999].

Благодарности

Автор благодарит своих коллег по кафедре «Ихтиологии и гидробиологии» за разностороннюю помощь в проведении исследований, а также своих рецензентов за ценные замечания к статье.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов.

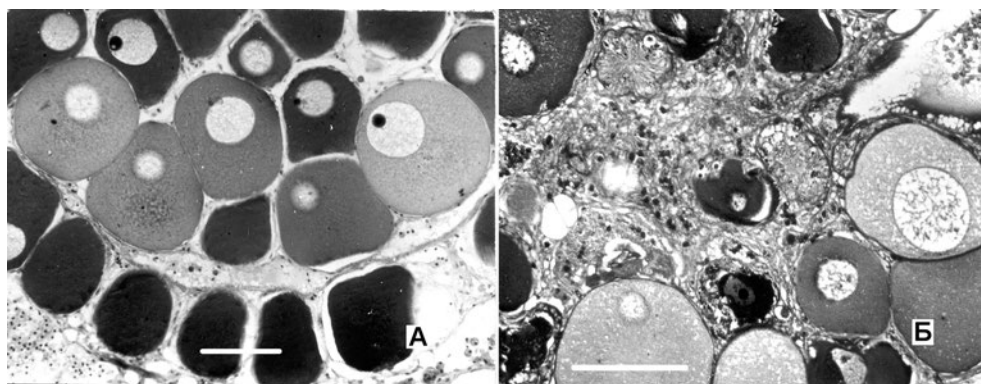


Рис. 2. Общий вид яичников у личинок ручьевой миноги перед (А) и во время (Б) резорбции ооцитов периода превителлогенеза. Шкала = 0,1 мм

Fig. 2. General view of ovaries in brook lamprey larvae before (A) and during (B) resorption of previtellogenic oocytes. Scale bar = 0,1 mm

Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

Финансирование

Работа не имела дополнительного спонсорского финансирования.

ЛИТЕРАТУРА

- Акимова Н.В., Рубан Г.И. 1996. Систематизация нарушений воспроизводства осетровых при антропогенном воздействии // Вопросы ихтиологии. Т. 36. № 1. С. 65–80.
- Акимова Н.В., Попова О.А., Решетников Ю.С., Кашулин Н.А., Лукин А.А., Амундсен П.А. 2000. Морфологическое состояние репродуктивной системы рыб в водоемах Кольского полуострова // Вопросы ихтиологии. Т. 40. № 2. С. 282–285.
- Анохина Л.Е. 1969. Закономерности изменения плодовитости рыб. М.: Наука. 291 с.
- Белова Н.В., Емельянова Н.Г., Макеева А.П., Рябов И.Н. 2001. Состояние воспроизводительной системы рыб из озера Кожановское (Брянская область), загрязнённого радионуклидами в результате аварии на Чернобыльской АЭС // Вопросы ихтиологии. Т. 41. № 3. С. 358–367.
- Белова Н.В., Емельянова Н.Г., Макеева А.П., Рябова И.Н. 2007. Состояние воспроизводительной системы рыб из озера Кожановское (Брянская область), загрязнённого радионуклидами в результате аварии на Чернобыльской АЭС // Рыбоводство и рыбное хозяйство. № 7. С. 29–38.
- Беляев В.А., Новиков Ю.В., Свирский В.Г. 1991. Запасы дальневосточной сардины и изменения в ихтиоценозе СЗТО // Рыбное хозяйство. № 8. С. 24–28.
- Бугаев Л.А., Рудницкая О.А., Засядько А.С., Ниточка О.А. 2002. Состояние гонад осетровых рыб Азовского моря в современный период // Современные проблемы физиологии и экологии морских животных (рыбы, птицы, млекопитающие). Ростов-на-Дону. 11–13.09. 2002 г. Ростов-на-Дону: ООО «ЦВВР». С. 21–24.
- Веригин Б.В., Белова Н.В., Емельянова Н.Г., Макеева А.П., Выборнов А.А., Рябов И.Н. 1996. Радиобиологический анализ белого толстолобика *Hypophthalmichthys molitrix* в водоёме-охладителе Чернобыльской АЭС в послеаварийный период. 3. Результаты искусственного воспроизводства облученных рыб // Вопросы ихтиологии. Т. 36. № 2. С. 248–259.
- Дубинина А.Ю., Золотов А.О. 2015. Атрезия ооцитов верхней двухлинейной камбалы *Lepidopsetta polyxistra* (Pleuronectiformes, Pleuronectidae) тихоокеанских вод Камчатки // Известия ТИНРО. Т. 180. С. 99–106.
- Дуркина В.Б., Черкасова И.В. 2007. Аномалии оогенеза у полосатой камбалы *Pleuronectes pinnifasciatus* из Амурского залива Японского моря // Известия РАН. Серия биологическая. № 5. С. 591–597.
- Журавлева Г.Ф., Земков Г.В. 2000. Структурные нарушения в ооцитах в зависимости от патоморфогенеза печени осетровых при кумулятивном токсикозе // Осетровые на рубеже 21 века. Астрахань. 11–15.09. 2000 г. Астрахань: Изд-во КаспНИРХ. С. 144–145.
- Зеленников О.В. 1999. Гаметогенез радужной форели *Onchorhynchus mykiss*, выращенной в системе с обратным водоснабжением от вылупления до полового созревания при оптимальной температуре // Вопросы ихтиологии. Т. 39. № 1. С. 89–97.
- Зеленников О.В. 2003 а. Влияние закисления воды на гаметогенез радужной форели *Parasalmo mykiss* // Вопросы ихтиологии. Т. 43. № 3. С. 388–401.
- Зеленников О.В. 2003 б. Сравнительный анализ состояния яичников у молоди тихоокеанских лососей в связи с проблемой становления моноциклии // Вопросы ихтиологии. Т. 43. № 4. С. 490–498.
- Зеленников О.В. 2019. Гаметогенез тихоокеанских лососей. 3. Сравнительный анализ состояния гонад у молоди тихоокеанских лососей в связи с формированием пловодитости // Труды ЗИН. Т. 323. № 4. С. 429–441.
- Зеленников О.В. 2021. Влияние процессов раннего оогенеза на развитие воспроизводительной системы у рыб. Автореф. дис. ... докт. биол. наук. М.: ВНИРО. 43 с.
- Зеленников О.В., Голод В.М. 2019. Гаметогенез радужной форели *Parasalmo mykiss*, выращенной от вылупления до полового созревания при температуре около 20°C // Вопросы ихтиологии. Т. 59. № 1. С. 68–79.
- Зеленников О.В., Кузнецов Ю.К., Фёдоров К.Е. 2019. Особенности становления структуры и объёма фонда превителлогенных ооцитов у радужной форели *Parasalmo mykiss* // Труды ВНИРО. Т. 175. с. 76–85.
- Зеленников О.В., Проскуряков К.А., Рудакова Г.С., Мякишев М.С. 2020. Сравнительная характеристика молоди горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* Walbaum, при её естественном и заводском воспроизводстве в Сахалинской области // Биология моря. Т. 46. № 1. С. 14–23.
- Зеленников О.В., Шнайдер Т.А. 2019. Характеристика дальневосточной сардины *Sardinops melanostictus* из промыслового улова в районе острова Шикотан // Труды ВНИРО. Т. 178. С. 69–76.
- Емельянова Н.Г., Макеева А.П., Белова Н.В., Зеленков В.М. 1996. Морфологическое состояние некоторых промысловых рыб юго-восточной части Баренцева и Белого морей // Материалы отчётной сессии по итогам НИР ПИНРО в 1995 г. Мурманск: Изд-во ПИНРО. С. 122–134.
- Емельянова Н.Г., Павлов Д.А., Павлов Е.Д., Лыонг Тхи Бик Тхуан, Во Тхи Ха. 2014. Аномалии в состоянии яичников полосатой зубатой барабули *Parupeneus multifasciatus* (Mullidae) из прибрежной зоны южной части центрального Вьетнама // Вопросы ихтиологии. Т. 54. Вып. 1. С. 78–86.
- Корниенко Г.Г., Ложичевская Т.В., Баландина Л.Г., Реков Ю.И., Ковальчук Л.И., Жильцова А.В. 1996. Резорбция половых желёз азовского осетра в экспериментальных и естественных условиях // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоёмов Азовского бассейна. Сб. научных трудов АзНИИРХ. Ростов-на-Дону. С. 247–256.
- Кузнецов Ю.К. 1986. Исследование функции яичников в связи с явлением карликовости у рыб и круглоротых на примере представителей родов *Osmerus* Lacépède и *Lampetra* Gray. Дисс... канд. биол. наук. Л.: ЛГУ. 249 с.
- Кузнецов Ю.К., Груслова А.Б., Зеленников О.В. 1999. Развитие гонад у молоди радужной форели и атлантического лосося после воздействия тестостероном в период, предшествующий цитологической дифференцировке пола // Вестник СПбГУ. Сер. 3. Вып. 1. С. 3–8.

- Лукин А.А., Шарова Ю.Н. 2002. Патологии микроструктуры генеративных органов самок сига *Coregonus lavaretus* оз. Имандра // Вопросы ихтиологии. Т. 42. № 1. С. 114–120.
- Пелагические рыбы (сайра, сардина, скумбрия). (путинный прогноз). 2019. Владивосток: ТИНРО. 59 с.
- Петриков А.М., Петухов В.Б., Кохненко О.С., Воронович А.И. 1997. Дегенеративные изменения в ооцитах окуня при хроническом воздействии ионизирующей радиации // Доклады АН Беларуси. Т. 41. № 2. С. 111–115.
- Петухов В.Б., Петриков А.М. 1997. Нарушения гаметогенеза у рыб при хроническом воздействии ионизирующей радиации // Доклады АН Беларуси. Т. 41. № 4. С. 93–97.
- Подойницын Д.А. 2010. Эколого-биологическая оценка состояния популяции судака обыкновенного (*Sander lucioperca* L.) в условиях антропогенного преобразования Азово-донского бассейна. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Ростов-на-Дону. 23 с.
- Подушка С.Б. 2000. Критический обзор публикаций о нарушениях репродуктивной системы у осетровых // Научно-техн. бюл. лаб. ихтиол. ИНЭНКО. № 3. С. 9–30.
- Решетников Ю.С., Акимов Н.В., Попова О.А. 1999. Аномалии в системе воспроизводства рыб Кольского полуострова при антропогенном воздействии // Биологические основы изучения, освоения и охраны животного и растительного мира, почвенного покрова Восточной Финляндии. Петрозаводск. 06–10.09. 1999 г. Петрозаводск: Изд-во Финляндия. С. 155.
- Романов А.А., Романов Ал.А., Беляева Е.С. 2001. Мониторинг гистоморфологических нарушений гонадо-гаметогенеза осетровых рыб Волго-Каспийского региона // Сборник научных трудов КаспНИИРХ. С. 246–268.
- Рубан Г.И., Акимов Н.В. 2001. Состояние репродуктивной системы и причины снижения численности сибирского осетра *Acipenser baeri* реки Оби // Вопросы ихтиологии. Т. 41. № 2. С. 278–282.
- Рубан Г.И. 2017. Нарушения в развитии и функционировании воспроизводительной системы рыб как показатель антропогенного воздействия на среду их обитания и состояние здоровья среды // Онтогенез. Т. 48. № 6. С. 443–449.
- Сакун О.Ф., Свирский В.Г. 1992. Дегенерация ооцитов периодов превителлогенеза и вителлогенеза в половом цикле дальневосточной сардины *Sardinops sagax melanosticta* // Вопросы ихтиологии. Т. 32. № 3. С. 52–58.
- Сергеева С.Г. 2016. Морфологические особенности созревания тарани *Rutilus rutilus* в современных условиях // Морские биологические исследования: достижения и перспективы. Севастополь. 19–24.09. 2016 г. Севастополь: ФИЦ Ин БЮМ. С. 286–289.
- Таликина М.Г., Комов В.Т., Зеленецкий Н.М. 1996. Гистофизиологическая характеристика гонад окуня *Perca fluviatilis* из кислотных озер Дарвинского заповедника // Вопросы ихтиологии. Т. 36. № 3. С. 400–406.
- Таликина М.Г. 1998. Некоторые данные о пластичности ранних этапов развития гонад и реакции сеголеток плотвы *Rutilus rutilus* на температурные шоки // Вопросы ихтиологии. Т. 38. № 1. С. 100–105.
- Чмилевский Д.А. 1998. Влияние повышенной температуры на различные периоды и фазы оогенеза тилляпии *Oreochromis mossambicus* // Вопросы ихтиологии. Т. 38. № 5. С. 676–683.
- Чмилевский Д.А. 2003. К вопросу о периодизации оогенеза костистых рыб (обзор) // Вопросы ихтиологии. Т. 43. № 3. С. 375–387.
- Шарова Ю.Н. 1999. Особенности функционирования репродуктивной системы сига (*Coregonus lavaretus* L.) из субарктических водоёмов // Биологические основы изучения освоения и охраны животного и растительного мира, почвенного покрова Восточной Финляндии. Петрозаводск. 06–10.09. 1999 г. Петрозаводск: Изд-во «Финляндия». С. 173.
- Шарова Ю.Н., Кауфман З.С., Лукин А.А. 2003. Оогенез рыб Европейского Севера России при технологическом загрязнении. Петрозаводск. КарНЦ РАН. 130 с.
- Шильдяев А.А., Мосягина М.В., Зелеников О.В. 2008. К вопросу об экологическом параллелизме миног и лососевых рыб // Экологические проблемы Севера. Архангельск. 11–13.03. 2008 г. Архангельск: ИЭПС АНЦ УрО РАН. С. 219–221.
- Hardisty M.W. 1964. The fecundity of lampreys // Archiv für Hydrobiologie. V. 60. № 3. P. 340–357.
- Hardisty M.W. 1965. Sex differentiation and gonadogenesis in lampreys. 1. The ammocoete gonads of the brook lamprey, *Lampetra planeri* // Journal of Zoology. V. 146. № 3. P. 305–345.
- Hardisty M.W., Potter I.C. 1971. The behavior ecology and growth of larval lampreys // The Biology of Lampreys. Vol. 1 N.Y. Academic Press. P. 85–125.
- Hughes R.L., Potter I.C. 1969. Studies on gametogenesis and fecundity in the lampreys *Mordacia praecox* and *Mordacia mordax* (Petromyzonidae) // Australian Journal of Zoology. V. 17(3). P. 447–464.
- Kopp C.R. 2017. An historical comparison of Lake Superior sea lamprey fecundity and egg size // Senior Capstone in Natural Resources Northland College April. C. 1–15.
- Kornienko G.G., Dudkin S.I., Lozhichevskaya T.V. 1997. Monitoring of reproductive potential of Azov sea sturgeons under present conditions of habitat // 3rd Int. Symp. Sturgeon, Piacenza, July 8–11, P. 229–230.
- Kuznetsov Yu., Mosyagina M., Zelennikov O. 2016. The formation of fecundity in ontogeny of lampreys // Jawless Fishes of the World: Volume 1. /Eds: Alexei Orlov, Richard Beamish. Cambridge Scholars Publishing. P. 323–345.
- Malmqvist B. 1978. Population structure and biometry of *Lampetra planeri* (Bloch) from three different watersheds in South Sweden // Archiv für Hydrobiologie. V. 84. P. 65–86.
- Miranda A.C.L., Bazzoli N., Rizzo E., Sato Y. 1999. Ovarian follicular atresia in two teleost species: a histological and ultrastructural study // Tissue & Cell. V. 31. № 5. P. 480–488.
- Pletcher F.T. 1963. The life history and distribution of lampreys in the almon and certain other rivers in British Columbia, Canada. Master of Science Thesis. University of British Columbia, Vancouver B.C. 195 p.
- Weissenberg R. 1927. Beiträge zur kenntniss der biologie und morphologie der neuenaugen. 2. Das reifewachstum der gonaden bei *lampetra fluviatilis* und *planeri* // Zeitschrift für mikroskopische-anatomische Forschung. V. 8. P. 193–249.

REFERENCES

- Akimova N.V., Ruban G.I. 1996. Systematization of reproduction disturbances in sturgeon under anthropogenic impact // *Voprosy ikhtiologii*. V. 36. № 1. P. 65–80.
- Akimova N.V., Popova O.A., Reshetnikov YU.S., Kashulin N.A., Lukin A.A., Amundsen P.A. 2000. The morphological state of the reproductive system of fish in the water bodies of the Kola Peninsula // *Voprosy ikhtiologii*. V. 40. № 2. P. 282–285.
- Anokhina L.E. 1969. Regularities of changes in fish fertility. M.: Nauka. 291 s.
- Belova N.V., Emel'yanova N.G., Makeeva A.P., Ryabov I.N. 2001. The state of the reproductive system of fish from Lake Kozhanovskoe (Bryansk region) contaminated with radionuclides as a result of the accident at the Chernobyl nuclear power plant // *Voprosy ikhtiologii*. V. 41. № 3. P. 358–367.
- Belova N.V., Emel'yanova N.G., Makeeva A.P., Ryabova I.N. 2007. The state of the reproductive system of fish from Lake Kozhanovskoe (Bryansk region) contaminated with radionuclides as a result of the accident at the Chernobyl nuclear power plant // *Rybovodstvo i rybnoe khozyajstvo*. № 7. P. 29–38.
- Belyaev V.A., Novikov Yu.V., Svirskij V.G. 1991. Stocks of the Far Eastern sardine and changes in the ichthyocenosis of the SZTO // *Rybnoe khozyajstvo*. № 8. P. 24–28.
- Bugaev L.A., Rudnitskaya O.A., Zasyad'ko A.S., Nitochka O.A. 2002. The state of the gonads of sturgeon fish of the Sea of Azov in the modern period // *Modern problems of physiology and ecology of marine animals (fish, birds, mammals)*. Rostov-na-Donu. 11–13.09. 2002 year. Rostov-na-Donu: OOO «CVVR». P. 21–24.
- Verigin B.V., Belova N.V., Emel'yanova N.G., Makeeva A.P., Vyborno A.A., Ryabov I.N. 1996. Radiobiological analysis of silver carp *Hypophthalmichthys molitrix* in the cooling pond of the Chernobyl nuclear power plant in the post-accident period. 3. Results of artificial reproduction of irradiated fish // *Voprosy ikhtiologii*. V. 36. № 2. P. 248–259.
- Dubinin A. Yu., Zolotov A.O. 2015. Atresia of oocytes of the northern two-line flounder *Lepidopsetta polyxystra* (Pleuronectiformes, Pleuronectidae) of the Pacific waters of Kamchatka // *Izvestiya TINRO*. V. 180. P. 99–106.
- Durkina V.B., Cherkasova I.V. 2007. Anomalies of oogenesis in the striped flounder *Pleuronectes pinnifasciatus* from the Amur Bay of the Japan Sea // *Izvestiya RAN. Seriya biologicheskaya*. № 5. P. 591–597.
- Zhuravleva G.F., Zemkov G.V. 2000. Structural abnormalities in oocytes depending on the pathomorphogenesis of sturgeon liver in cumulative toxicosis // *Sturgeon at the turn of the 21st century*. Astrakhan. Astrahan'. 11–15.09. 2000 year. Astrakhan': KaspNIRH Publish. P. 144–145.
- Zelennikov O.V. 1999. Gametogenesis of rainbow trout *Onchorynchus mykiss* reared in a circulating water supply system from hatching to puberty at an optimum temperature // *Voprosy ikhtiologii*. V. 39. № 1. P. 89–97.
- Zelennikov O.V. 2003 a. Effect of water acidification on gametogenesis of rainbow trout *Parasalmo mykiss* // *Voprosy ikhtiologii*. V. 43. № 3. P. 388–401.
- Zelennikov O.V. 2003 b. Comparative analysis of the state of the ovaries in juvenile Pacific salmon in connection with the problem of the monocyclia formation // *Voprosy ikhtiologii*. V. 43. № 4. P. 490–498.
- Zelennikov O.V. 2019. Gametogenesis of Pacific salmon. 3. Comparative analysis of the state of the gonads in juvenile Pacific salmon in connection with the formation of fertility // *Trudy ZIN*. V. 323. № 4. P. 429–441.
- Zelennikov O.V. 2021. Influence of early oogenesis processes on the development of the reproductive system in fish. Avtoref. dis. ... dokt. biol. nauk. M.: VNIRO. 43 s.
- Zelennikov O.V., Golod V.M. 2019. Gametogenesis of rainbow trout *Parasalmo mykiss* reared from hatching to puberty at a temperature of about 20 °C // *Voprosy ikhtiologii*. V. 59. № 1. P. 68–79.
- Zelennikov O.V., Kuznetsov Yu.K., Fedorov K.E. 2019. Features of the formation of the structure and volume of the fund of previtellogenic oocytes in the rainbow trout *Parasalmo mykiss* // *Trudy VNIRO*. V. 175. P. 76–85.
- Zelennikov O.V., Proskuryakov K.A., Rudakova G.S., Myakishev M.S. 2020. Comparative characteristics of juvenile pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* Walbaum, with its natural and hatchery reproduction in the Sakhalin region // *Biologiya morya*. V. 46. № 1. P. 14–23.
- Zelennikov O.V., Shnajder T.A. 2019. Characteristics of the Far Eastern sardine *Sardinops melanostictus* from the commercial catch in the area of Shikotan Island // *Trudy VNIRO*. V. 178. P. 69–76.
- Emel'yanova N.G., Makeeva A.P., Belova N.V., Zelenkov V.M. 1996. Morphological state of some commercial fish in the southeastern part of the Barents and White seas // *Mat. otchetnoj sessii po itogam NIR PINRO v 1995 year*. Murmansk: Izd-vo PINRO. P. 122–134.
- Emel'yanova N.G., Pavlov D.A., Pavlov E.D., Lyong Tkhi Bik Tkhan, Vo Tkhi Kha. 2014. Anomalies in the ovarian state of the striped toothed goat *Parupeneus multifasciatus* (Mullidae) from the coastal zone of the southern part of central Vietnam // *Voprosy ikhtiologii*. V. 54. № 1. P. 78–86.
- Kornienko G.G., Lozhichevskaya T.V., Balandina L.G., Rekov Yu.I., Koval'chuk L.I., Zhil'tsova A.V. 1996. Resorption of the gonads of the Azov sturgeon in experimental and natural conditions // *The main problems of fisheries and protection of fishery reservoirs of the Azov basin. Collection of scientific papers AzNIIRKH*. Rostov-na-Donu. P. 247–256.
- Kuznetsov Yu.K. 1986. Study of ovarian function in connection with the phenomenon of dwarfism in fish and cyclostomes using the example of representatives of the genera *Osmerus* Lacépède and *Lampetra* Gray. Diss... kand. biol. nauk. L.: LGU. 249 p.
- Kuznetsov Yu.K., Gruslova A.B., Zelennikov O.V. 1999. Development of gonads in juvenile rainbow trout and Atlantic salmon after exposure to testosterone in the period preceding cytological sex differentiation // *Vestnik SPbGU*. Is. 3. № 1. P. 3–8.
- Lukin A.A., Sharova Yu.N. 2002. Pathologies of the microstructure of the generative organs of female whitefish *Coregonus lavaretus* Lake Imandra // *Voprosy ikhtiologii*. V. 42. № 1. P. 114–120.
- Pelagic fish* (saury, sardine, mackerel). (fishing forecast). 2019. Vladivostok: TINRO. 59 p.

- Petrikov A.M., Petukhov V.B., Kokhnenko O.S., Voronovich A.I. 1997. Degenerative changes in perch oocytes under chronic exposure to ionizing radiation // Doklady AN Belarusi. V. 41. № 2. P. 111–115.
- Petukhov V.B., Petrikov A.M. 1997. Disturbances of gametogenesis in fish under chronic exposure to ionizing radiation // Doklady AN Belarusi. V. 41. № 4. P. 93–97.
- Podojnitsyn D.A. 2010. Ecological and biological assessment of the state of the common zander (*Sander lucioperca* L.) population under the conditions of anthropogenic transformation of the Azov-Don basin. Avtoref. diss. ... kand. biol. nauk. Rostov-na-Donu. 23 p.
- Podushka S.B. 2000. Critical review of publications on reproductive system disorders in sturgeon // Nauchno-tekhn. byul. lab. ikhtiolog. INEHNKO. № 3. P. 9–30.
- Reshetnikov Yu.S., Akimova N.V., Popova O.A. 1999. Anomalies in the fish reproduction system of the Kola Peninsula under anthropogenic impact // Biological foundations of the study, development and protection of the animal and plant world, the soil cover of Eastern Fennoscandia. Petrozavodsk. 06–10.09. 1999 year. Petrozavodsk: Fennoscandia Publish. P. 155.
- Romanov A.A., Romanov A.A., Belyaeva E.S. 2001. Monitoring of histomorphological disorders of gonad-gametogenesis of sturgeon fishes in the Volga-Caspian region // Collection of scientific papers KaspNIRH. S. 246–268.
- Ruban G.I., Akimova N.V. 2001. The state of the reproductive system and the reasons for the decline in the number of Siberian sturgeon *Acipenser baeri* of the Ob River // Voprosy ikhtiologii. V. 41. № 2. P. 278–282.
- Ruban G.I. 2017. Disturbances in the development and functioning of the reproductive system of fish as an indicator of anthropogenic impact on their habitat and the state of health of the environment // Ontogenez. V. 48. № 6. P. 443–449.
- Sakun O.F., Svirskij V.G. 1992. Oocyte degeneration during previtellogenesis and vitellogenesis in the reproductive cycle of the Far Eastern sardine *Sardinops sagax melanosticta* // Voprosy ikhtiologii. V. 32. № 3. P. 52–58.
- Sergeeva S.G. 2016. Morphological features of maturation of the ram *Rutilus rutilus* in modern conditions // Marine biological research: achievements and prospects. Sevastopol'. 19–24.09. 2016 year. Sevastopol': FIC In BYUM. P. 286–289.
- Talikina M.G., Komov V.T., Zelenetskij N.M. 1996. Histophysiological characteristics of the gonads of the perch *Perca fluviatilis* from the acidic lakes of the Darwin Reserve // Voprosy ikhtiologii. V. 36. № 3. P. 400–406.
- Talikina M.G. 1998. Some data on the plasticity of the early stages of gonad development and the reaction of underyearlings of roach *Rutilus rutilus* to temperature shocks // Voprosy ikhtiologii. V. 38. № 1. P. 100–105.
- Chmylevskij D.A. 1998. Influence of elevated temperature on different periods and phases of oogenesis of tilapia *Oreochromis mossambicus* // Voprosy ikhtiologii. V. 38. № 5. P. 676–683.
- Chmylevskij D.A. 2003. On the question of the periodization of the oogenesis of teleost fishes (review) // Voprosy ikhtiologii. V. 43. № 3. P. 375–387.
- Sharova Yu.N. 1999. Features of the functioning of the reproductive system of whitefish (*Coregonus lavaretus* L.) from subarctic water bodies // Biological foundations of the study, development and protection of the animal and plant world, the soil cover of Eastern Fennoscandia. Petrozavodsk. 06–10.09. 1999 year. Petrozavodsk: Fennoscandia Publish. P. 173.
- Sharova Yu.N., Kaufman Z.S., Lukin A.A. 2003. Oogenesis of fish in the European North of Russia under technological pollution. Petrozavodsk. KarNC RAN. 130 s.
- Shil'dyaev A.A., Mosyagina M.V., Zelennikov O.V. 2008. On the issue of ecological parallelism of lampreys and salmonids // Environmental problems of the North. Arhangel'sk. 11–13.03. 2008 year. Arhangel'sk: IEPS ASC UrO RAS. P. 219–221.
- Hardisty M.W. 1964. The fecundity of lampreys // Archiv für Hydrobiologie. V. 60. № 3. P. 340–357.
- Hardisty M.W. 1965. Sex differentiation and gonadogenesis in lampreys. 1. The ammocoete gonads of the brook lamprey, *Lampetra planeri* // J. of Zoology. V. 146. № 3. P. 305–345.
- Hardisty M.W., Potter I.C. 1971. The behavior ecology and growth of larval lampreys // The Biology of Lampreys. Vol. 1 N.Y. Academic Press. P. 85–125.
- Hughes R.L., Potter I.C. 1969. Studies on gametogenesis and fecundity in the lampreys *Mordacia praecox* and *Mordacia mordax* (Petromyzonidae) // Australian J. of Zoology. V. 17(3). P. 447–464.
- Kopp C.R. 2017. An historical comparison of Lake Superior sea lamprey fecundity and egg size // Senior Capstone in Natural Resources Northland College April. C. 1–15.
- Kornienko G.G., Dudkin S.I., Lozhichevskaya T.V. 1997. Monitoring of reproductive potential of Azov sea sturgeons under present conditions of habitat // 3rd Int. Symp. Sturgeon, Piacenza, July 8–11, P. 229–230.
- Kuznetsov Yu., Mosyagina M., Zelennikov O. 2016. The formation of fecundity in ontogeny of lampreys // Jawless Fishes of the World: Volume 1. /Eds: Alexei Orlov, Richard Beamish. Cambridge Scholars Publishing. P. 323–345.
- Malmquist B. 1978. Population structure and biometry of *Lampetra planeri* (Bloch) from three different watersheds in South Sweden // Archiv für Hydrobiologie. V. 84. P. 65–86.
- Miranda A.C.L., Bazzoli N., Rizzo E., Sato Y. 1999. Ovarian follicular atresia in two teleost species: a histological and ultrastructural study // Tissue & Cell. V. 31. № 5. P. 480–488.
- Pletcher F.T. 1963. The life history and distribution of lampreys in the almon and certain other rivers in British Columbia, Canada. Master of Science Thesis. University of British Columbia, Vancouver B.C. 195 p.
- Weissenberg R. 1927. Beiträge zur kenntniss der biologie und morphologie der neuenaugen. 2. Das reifewachstum der gonaden bei *lampetra fluviatilis* und *planeri* // Zeitschrift für mikroskopische-anatomische Forschung. V. 8. P. 193–249.

Поступила в редакцию 03.09.2021 г.
Принята после рецензии 27.09.2021 г.

Водные биологические ресурсы

Динамика обилия массовых промысловых рыб дальневосточных морей и прилегающих районов открытой части Тихого океана и влияющие на неё факторы

А.В. Датский¹, В.В. Кулик², С.А. Датская³

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

² Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), пер. Шевченко, 4, Владивосток, 690091

³ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (ФГБОУ ВО «МГУ им. М.В. Ломоносова»), Ленинские горы, д.1, Москва, ГСП-1, 119991

E-mail: adatsky@vniro.ru

Цель работы: нахождение закономерностей в формировании обилия массовых промысловых рыб дальневосточных морей и прилегающих районов открытой части Тихого океана, выявление абиотических, биотических и антропогенных факторов, воздействующих на численность рыб.

Используемые методы: для решения поставленной цели с 1937 по 2020 гг. проанализированы данные по биомассе, вылову и урожайности поколений 38 группировок морских рыб. В рамках обнаружения исходных факторов, оказывающих потенциальное влияние на биомассу гидробионтов, привлечены многолетние данные изменчивости природной среды. Для определения силы связи между факторами среды и обилием рыб впервые предложено использовать максимальный информационный коэффициент (МИК), расчёты которого произведены с применением языка программирования R и пакета Minerva.

Новизна: элементами новизны являются выявленные связи обилия рыб с определенными факторами среды через использование МИК, которые могут быть использованы для целей прогнозирования. Результаты исследования показали, что наибольшие значения обилия гидробионтов сформированы преимущественно поколениями высокой численности с периодичностью 6–13 лет (3–7 лет – у тихоокеанских лососей). По причине регионального воздействия абиотических и прочих факторов в динамике отдельных единиц запасов рыб в пределах видов выявлена отличная друг от друга цикличность. Среди 15 факторов среды, тесно связанных с обилием рыб, определяющими были температура воды в различных горизонтах (от поверхности до дна), ледовитость, цветение фитопланктона и биомасса различных фракций и видов зоопланктона. В то же время влияние рыболовства на численность исследуемых рыб на современном этапе незначительно.

Практическая значимость: примененный в настоящей работе метод прогнозирования уловов посредством учёта взаимодействия абиотических и прочих факторов среды и обнаруженных закономерностей в периодичности формирования обилия морских рыб позволит повысить эффективность использования их сырьевой базы.

Ключевые слова: морские рыбы, дальневосточные моря и прилегающие акватории открытой части Тихого океана, факторы среды, биомасса, вылов, урожайные поколения, максимальный информационный коэффициент, периодичность, прогнозирование.

The dynamics of the abundance of commercial fish in the Far Eastern seas and adjacent areas of the open part of the Pacific Ocean and factors influencing it

Andrey V. Datsky¹, Vladimir V. Kulik², Sofia A. Datskaya³

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

² Pacific branch of VNIRO («TINRO»), 4, per. Shevchenko, Vladivostok, 690091, Russia

³ Lomonosov Moscow State University («MSU»), 1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia

Purpose of the work: finding patterns in the formation of the abundance of large-scale commercial fish in the Far Eastern seas and adjacent areas of the open part of the Pacific Ocean, identifying abiotic, biotic and anthropogenic factors affecting the number of fish.

Methods used: to solve the set goal from 1937 to 2020. analyzed data on biomass, catch and productivity of generations of 38 groups of marine fish. Within the framework of the discovery of the initial factors that have a potential effect on the biomass of aquatic organisms, long-term data on the variability of the natural environment were used. To determine the strength of the relationship between environmental factors and the abundance of fish, it was for the first time proposed to use the maximum information coefficient (MIC), the calculations of which were made using the R programming language and the Minerva package.

Novelty: the elements of novelty are the identified relationships between the abundance of fish and certain environmental factors through the use of MICs, which can be used for forecasting purposes. The results of the study showed that the highest values of the abundance of aquatic organisms were formed mainly by generations of high abundance with a frequency of 6–13 years (3–7 years for Pacific salmon). Due to the regional impact of abiotic and other factors in the dynamics of individual units of fish stocks within species, a different cyclicity was revealed. Among 15 environmental factors closely related to the abundance of fish, the

determining factors were the water temperature in various horizons (from the surface to the bottom), ice cover, phytoplankton bloom, and the biomass of various fractions and species of zooplankton. At the same time, the influence of fishing on the number of studied fish at the present stage is insignificant.

Practical significance: the method for predicting catches used in this work by taking into account the interaction of abiotic and other environmental factors and the discovered patterns in the frequency of formation of the abundance of marine fish will increase the efficiency of using their raw material base.

Keywords: marine fish, the Far Eastern seas and adjacent water areas of the open part of the Pacific Ocean, environmental factors, biomass, catch, productive generations, maximum information coefficient, periodicity, forecasting.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие промышленного рыболовства во многом зависит от имеющейся сырьевой базы морских рыб, промысловые запасы отдельных видов и популяций которых находятся в постоянной, зачастую разнонаправленной, динамике. В этой связи, достоверное прогнозирование уловов рыб на ближайшую и долгосрочную перспективу представляется важнейшей задачей, в ходе которой затрагиваются такие первостепенные вопросы как поддержание популяций в равновесном состоянии и их рациональное использование. В то же время успешное решение этой задачи затруднено отсутствием проверенных и долговременных материалов по биологии, численности и добыче отдельных единиц запаса, многофакторным влиянием природной среды и биоты на обилие рыб. Также важнейшими условиями решения вышеуказанной проблемы, помимо наличия исходных данных, являются профессиональные знания и умение определять численность гидробионтов с учётом её лимитирующих факторов.

Исходные данные для научной обработки начали поступать с начала 20-го века с формированием масштабного промысла трески *Gadus morhua* Linnaeus 1758, *G. macrocephalus* Tilesius, 1810 и сельди *Clupea harengus* Linnaeus 1758, *C. pallasii* Valenciennes, 1847 Северного и Дальневосточного регионов, тихоокеанских лососей р. *Oncorhynchus*, анчоусов сем. Engraulidae, сардины *Sardinops melanostictus* (Temminck et Schlegel, 1846), ставриды *Trachurus japonicus* (Temminck & Schlegel, 1844) и скумбрии *Scomber japonicus* (Houttuyn, 1782) в северо-западной части Тихого океана. С 1950-х гг. стали появляться данные с промысла минтая *Theragra chalcogramma* Pallas, 1814, камбаловых рыб сем. Pleuronectidae, мойвы *Mallotus villosus catervarius* (Müller, 1776) и корюшек сем. Osmeridae. С развитием добывающих судов и орудий лова собиралась информация о среде обитания морских рыб, предпринимались попытки объяснить динамику их численности фоновыми условиями и антропогенным воздействием. Особенным вниманием пользовались идеи установления определённой цикличности в рыбопродуктивности объектов

промысла и оправдываемости прогнозов их вылова. Подобные исследования заложили базовые принципы для понимания причин изменения численности морских рыб, отмечая комплексное влияние на них множества факторов. Такие взаимосвязанные процессы в гидросфере, атмосфере и биосфере явились основой работ Г.К. Ижевского [1961; 1964], Д.Х. Кушинга [1979], а позже В.П. Шунтова [2001; 2016], Л.Б. Кляшторина, А.А. Любушина [2005], В.П. Шунтова, О.С. Темных [2008; 2011].

Необходимо отметить, что многочисленные исследования по динамике численности морских рыб и влияющих на неё факторам в большинстве своём охватывали либо одну локальную популяционную (региональную) группировку (или вид) рыб, либо в таких работах делали обобщения на материале, включающем в себя усреднённые данные по виду (группе видов) в целом. В последнем случае прогнозирование запасов минтая и тихоокеанских лососей по таким материалам [Кляшторин, Любушин, 2005] показало отличные от реальности результаты [Шунтов, 2016]. При этом вполне очевидно, что обилие рыб, обитающих в конкретной акватории, во многом зависит от региональных особенностей абиотических и биотических факторов среды этой акватории или водоёма. Принимая это во внимание, в настоящей работе была сделана попытка оценить воздействие абиотических и прочих факторов (ледовитость, температура воды и воздуха, биомасса зоопланктона, промысел и т.д.) на различные виды и группировки морских рыб с учётом региональных особенностей их распространения. Дополнительно с учётом данных по урожайности поколений рыб представлены материалы по возможной цикличности в обилии рыб.

Целью настоящего исследования является нахождение закономерностей в формировании обилия массовых промысловых рыб дальневосточных морей и прилегающих районов открытой части Тихого океана, а также выявление абиотических, биотических и антропогенных факторов, воздействующих на численность рыб. Для её достижения поставлены следующие задачи:

- выделение доминирующих по биомассе и вылову видов и группировок промысловых морских рыб и выявление долговременной динамики их обилия;
- нахождение закономерностей формирования биомассы доминирующих видов и группировок рыб с учётом данных по урожайности поколений;
- определение абиотических, биотических и антропогенных факторов с целью оценки степени их воздействия на обилие морских рыб;
- установление возможности использования многофакторного влияния природной среды на обилие морских рыб в целях прогнозирования их уловов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В исследовании задействованы материалы по таким значимым для рыболовства в дальневосточных морях и прилегающих районах открытой части Тихого океана видам рыб как минтай, треска, навага *Eleginus gracilis* (Tilesius, 1810), терпуги северный однопёрый *Pleurogrammus monopterygius* (Pallas, 1810) и южный однопёрый *P. azonus* Jordan & Metz, 1913, камбалы желтопёрая *Limanda aspera* Pallas, 1814 и двухлинейная *Lepidopsetta polyxistra* Orr & Matarese, 2000, сельдь тихоокеанская и тихоокеанские лососи (горбуша *Oncorhynchus gorbusha*

(Walbaum, 1792), кета *O. keta* (Walbaum, 1792), нерка *O. nerka* (Walbaum, 1792), кижуч *O. kisutch* (Walbaum, 1792), чавыча *O. tshawytscha* (Walbaum, 1792)). Эти объекты исторически имели важное промысловое значение для рыболовства в районе исследований, что позволило получить долговременные данные по их биомассе и вылову. Морские рыбы представлены в пределах видов 28 группировками (популяциями), единицами запасов на промысле. Тихоокеанские лососи 5 видов по причине отсутствия достоверных материалов по их численности из многочисленных нерестовых водоёмов рассматриваются 10 группировками, локализованными у западной Камчатки и северо-восточного побережья Камчатки и Чукотки. Суммарный вылов указанных выше гидробионтов, к примеру, в 2018 г. в российских водах Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна составил 2716 тыс. т, или 78% от всего вылова морских рыб (ещё 1371 тыс. т было поймано минтая и сельди в восточной части Берингова моря американской стороной), что указывает на высокую научную и практическую значимость прогнозирования их уловов. Распространение анализируемых рыб приурочено к определённым акваториям дальневосточных морей и прилегающей к ним части Тихого океана

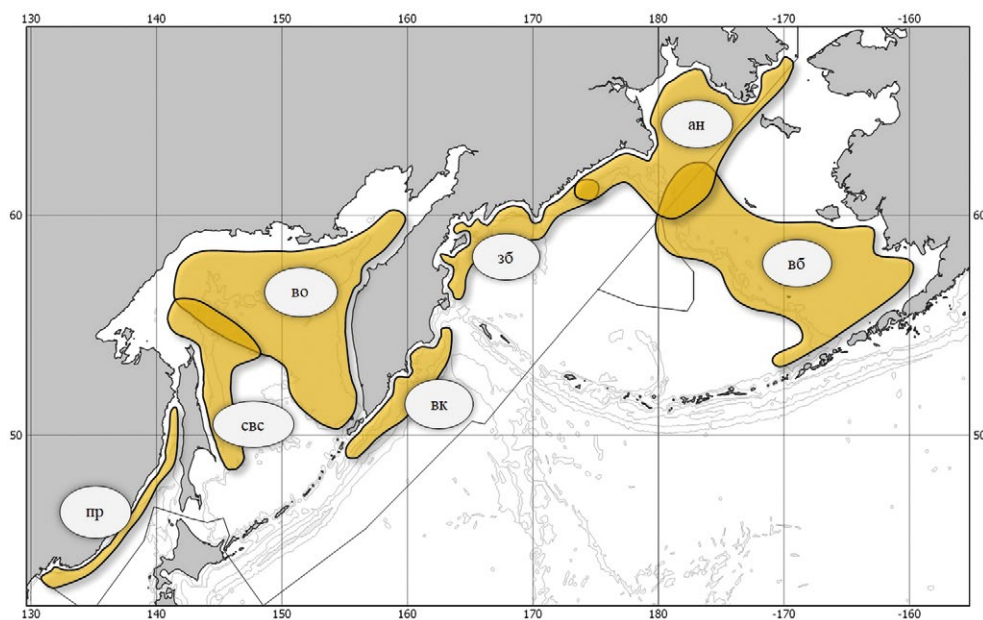


Рис. 1. Карта-схема расположения основных группировок (единиц запасов) минтая в дальневосточных морях, тихоокеанских водах Камчатки и северных Курильских островов. Обозначения группировок (даны в порядке убывания среднееголетнего вылова за последние 20 лет): вб – восточноберингоморская (уловы в зоне США), во – восточноохоотоморская, ан – анадырско-наваринская, вк – восточнокамчатская, зб – западноберингоморская, свс – северо-восточный Сахалин, пр – Японское море (Приморье)

Fig. 1. Map of the location of the main groups (stock units) of walleye pollock in the Far Eastern seas, Pacific waters of Kamchatka and the northern Kuril Islands. The designations of the groupings (given in descending order of the average long-term catch over the last 20 years): вб – East Bering Sea (catches in the US zone), во – East Okhotsk, ан – Anadyr-Navarin, вк – East Kamchatka, зб – West Bering Sea, свс – northeastern Sakhalin, пр – Sea of Japan (Primorye)

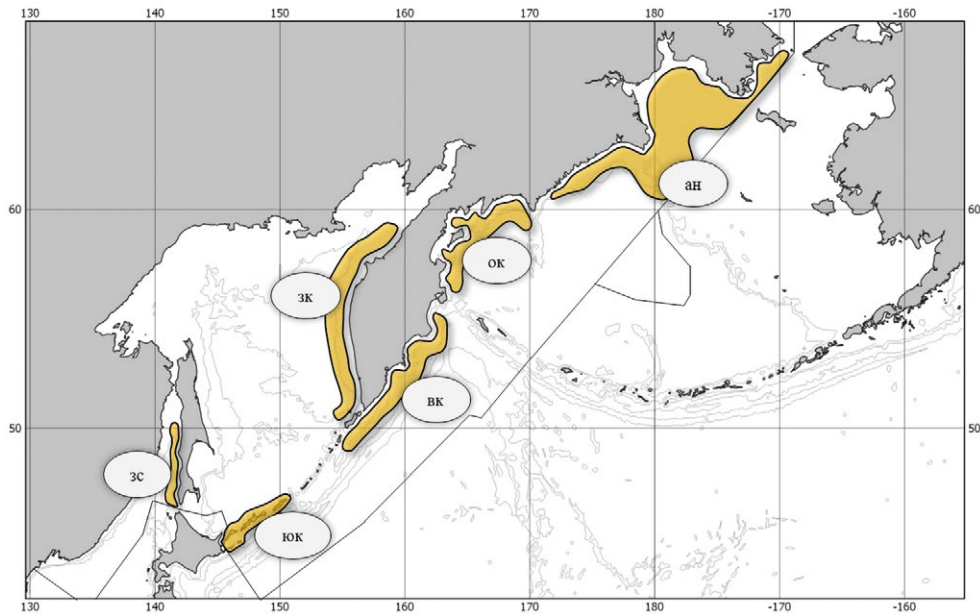


Рис. 2. Карта-схема расположения основных группировок (единиц запасов) трески в дальневосточных морях, тихоокеанских водах Камчатки, северных и южных Курильских островов. Обозначения группировок (даны в порядке убывания среднееголетнего вылова за последние 20 лет): ан – анадырско-наваринская, вк – восточнокамчатская, ок – олюторско-карагинская (карагинская), зк – западнокамчатская, юк – южнокурильская, зс – западносахалинская

Fig. 2. Map of the location of the main groups (stock units) of Pacific cod in the Far Eastern seas, the Pacific waters of Kamchatka, the northern and southern Kuril Islands. The designations of the groupings (given in descending order of the average long-term catch over the last 20 years): ан – Anadyr-Navarin, вк – East Kamchatka, ок – Olyutor-Karaginsky (Karaginsky), зк – West Kamchatka, юк – South Kuril, зс – West Sakhalin

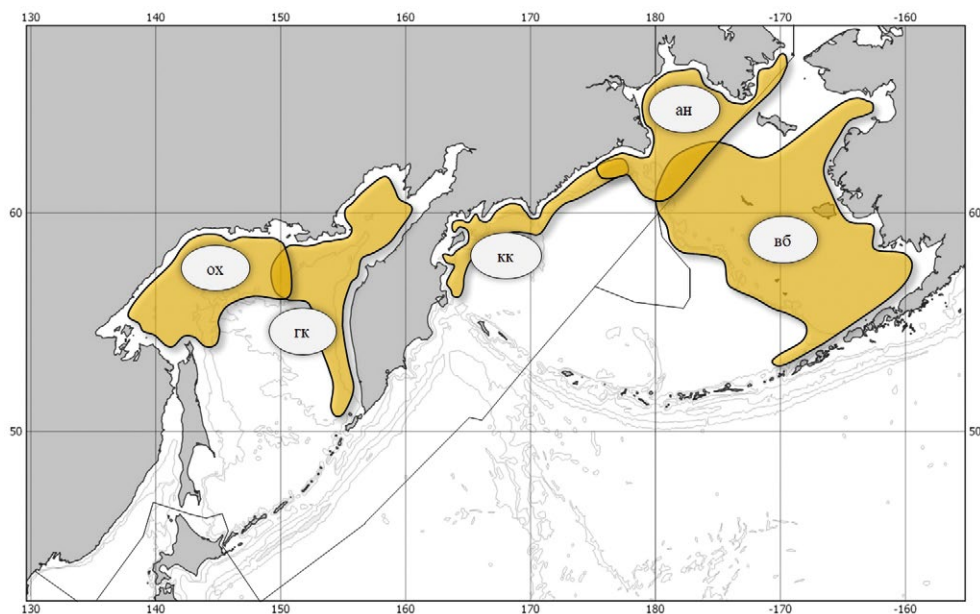


Рис. 3. Карта-схема расположения основных группировок (единиц запасов) тихоокеанской сельди в Охотском и Беринговом морях. Обозначения группировок (даны в порядке убывания среднееголетнего вылова за последние 20 лет): ок – охотская, ан – анадырская (учтены уловы восточнберинговоморской сельди в зоне РФ), кк – корфо-карагинская, вб – восточнберинговоморская (уловы в зоне США), гк – гижигинско-камчатская

Fig. 3. Map of the location of the main groups (stock units) of the Pacific herring in the Sea of Okhotsk and the Bering Sea. The designations of the groupings (given in descending order of the average long-term catch over the past 20 years): ок – Okhotsk, ан – Anadyr (catches of East Bering Sea herring in the RF zone are taken into account), кк – Korf-Karaginsky, вб – East Bering Sea (catches in the US zone), гк – Gizhiginsky-Kamchatka

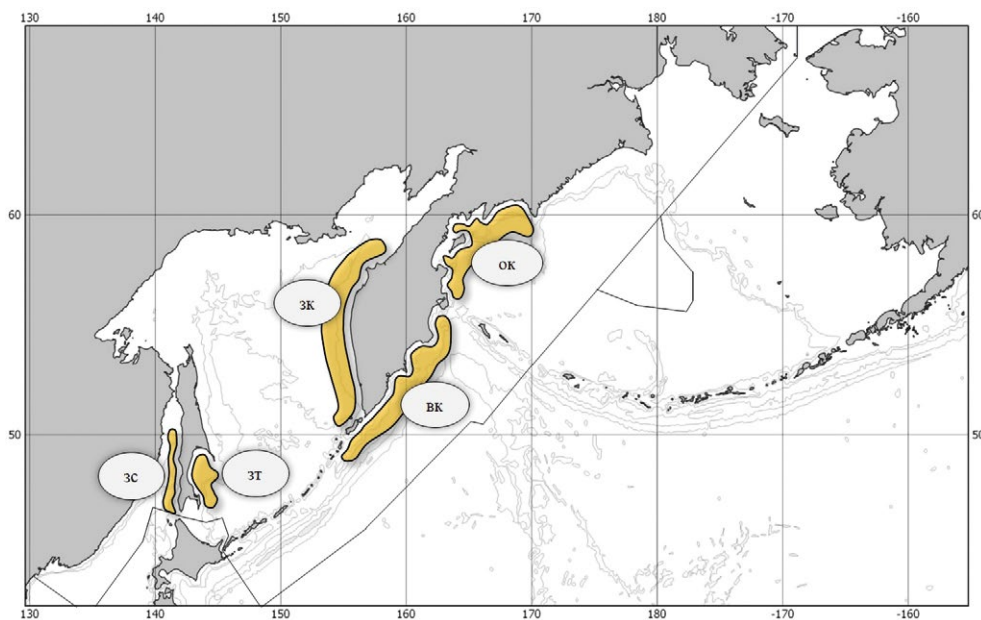


Рис. 4. Карта-схема расположения основных группировок (единиц запасов) камбал в дальневосточных морях, тихоокеанских водах Камчатки и северных Курильских островов. Обозначения группировок (даны в порядке убывания среднего многолетнего вылова за последние 20 лет): зк — желтопёрая западнокамчатская, вк — северная двухлинейная восточнокамчатская, ок — желтопёрая олюторско-карагинская (карагинская), зт — желтопёрая залива Терпения (юго-восточный Сахалин), зс — желтопёрая западносахалинская

Fig. 4. Map of the location of the main groups (stock units) of flounders in the Far Eastern seas, Pacific waters of Kamchatka and the northern Kuril Islands. The designations of the groupings (given in descending order of the average long-term catch over the last 20 years): зк — yellowfin sole of West Kamchatka, вк — northern rock sole of East Kamchatka, ок — yellowfin sole of Olutorsk-Karaginsky (Karaginsky), зт — yellowfin sole of Terpeniya Bay (southeastern Sakhalin), зс — yellowfin sole of West Sakhalin

и показано на рис. 1–6. В качестве уточнения отметим, что популяционный статус рыб и их границы приведены с учётом существующих на настоящий момент времени знаний и в некотором роде условны (отсутствует генетическая идентификация), зачастую отражая границы промысловых районов.

В работе использованы ряды данных по биомассам морских рыб, полученных из следующих источников: по минтаю [Николаев, Степаненко, 2001; Степаненко, 2001а, б; Борец и др., 2002; Булатов, 2004; 2014; Бабаян и др., 2006; Датский, Андронов, 2007; Буслов, 2008; Антонов, 2011; Овсянников, 2011; Ianelli et al., 2013; 2018; Ильин и др., 2014; Степаненко, Грицай, 2016; Вдовин и др., 2017; Охотоморский..., 2017], треске [Антонов, 2011; 2013; Золотов и др., 2013], наваге [Антонов, 2011; Золотов и др., 2013], терпугам [Антонов, 2011; Золотов и др., 2015; Золотов, Фатыхов, 2016], камбалам [Тарасюк, 1997; Золотов, 2008; 2009; Антонов, 2011; Золотов и др., 2014; Антонов, Кузнецова, 2018] и сельди [Шунтов и др., 1993; Фархутдинов, 2005; Антонов и др., 2016; Лобода, Жигалин, 2017; Ormseth, 2019]. Для корректного сопоставления величин обилия биомасса минтая из юго-восточной части Берингова моря пересчитана с учётом коэффи-

циентов уловистости тралов: для молоди — 0,1; для взрослых рыб — 0,4 [Макрофауна..., 2012].

Многолетние материалы по вылову представлены в следующих публикациях: по минтаю [Фадеев, Веспестад, 2001; Степаненко, Николаев, 2005; Антонов, 2011; Ianelli et al., 2013; 2018; Шевченко, Датский, 2014; Вдовин и др., 2017], треске [Промысел..., 1988¹; Балыкин, 2006; Антонов, 2011; 2013], наваге [Балыкин, 2006; Новикова, 2007; 2014; Антонов, 2011], терпугам [Антонов, 2011; Золотов и др., 2015; Золотов, Фатыхов, 2016], камбалам [Тарасюк, 1997; Золотов, 2008; 2009; Антонов, 2011; Золотов и др., 2014] и сельди [Антонов и др., 2016; Лобода, Жигалин, 2017]. Данные по вылову тихоокеанских лососей взяты с сайта NPAFC [www.npafc.org.].

Опубликованные материалы по биомассам и выловам морских рыб были дополнены результатами исследований, полученными дальневосточными научно-исследовательскими институтами на современном этапе (до 2020 г. включительно). Вылов морских рыб также анализировали по данным оперативной отчёт-

¹ Промысел трески в северо-западной части Тихого океана и перспективы его развития. 1988. Промежуточный научный отчёт / исп. А.М. Орлов. М.: ВНИРО. 73 с.

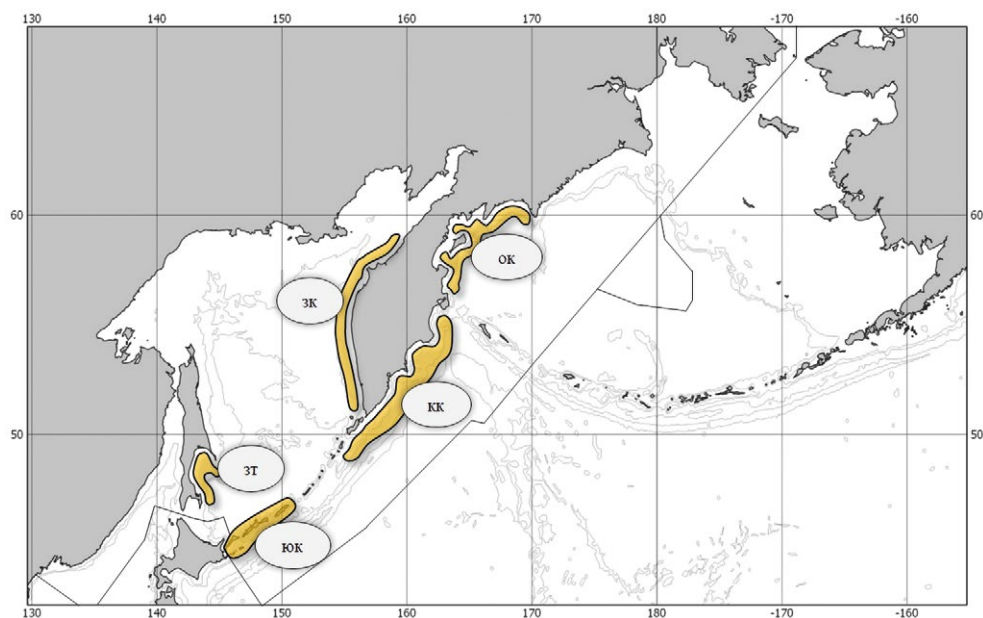


Рис. 5. Карта-схема расположения основных группировок (единиц запасов) наваги и терпугов в дальневосточных морях, тихоокеанских водах Камчатки, северных и южных Курильских островов. Обозначения группировок (даны в порядке убывания среднеегодового вылова за последние 20 лет): кк – терпуг северный однопёрый юго-восточной Камчатки и северных Курильских островов (курило-камчатская), зк – навага западнокамчатская, зт – навага залива Терпения (юго-восточный Сахалин), ок – навага олюторско-карагинская (карагинская), юк – терпуг южный однопёрый южных Курильских островов

Fig. 5. Map of the location of the main groups (stock units) of saffron cod and greenlings in the Far Eastern seas, the Pacific waters of Kamchatka, the northern and southern Kuril Islands. The designations of the groupings (given in descending order of the average long-term catch over the last 20 years): кк – Atka mackerel of southeastern Kamchatka and northern Kuril Islands (Kuril-Kamchatka), зк – saffron cod of West Kamchatka, зт – saffron cod of Terpeniya Bay (southeastern Sakhalin), ок – saffron cod of Olutorsk-Karaginsky (Karaginsky), юк – Okhotsk atka mackerel of the southern Kuril Islands

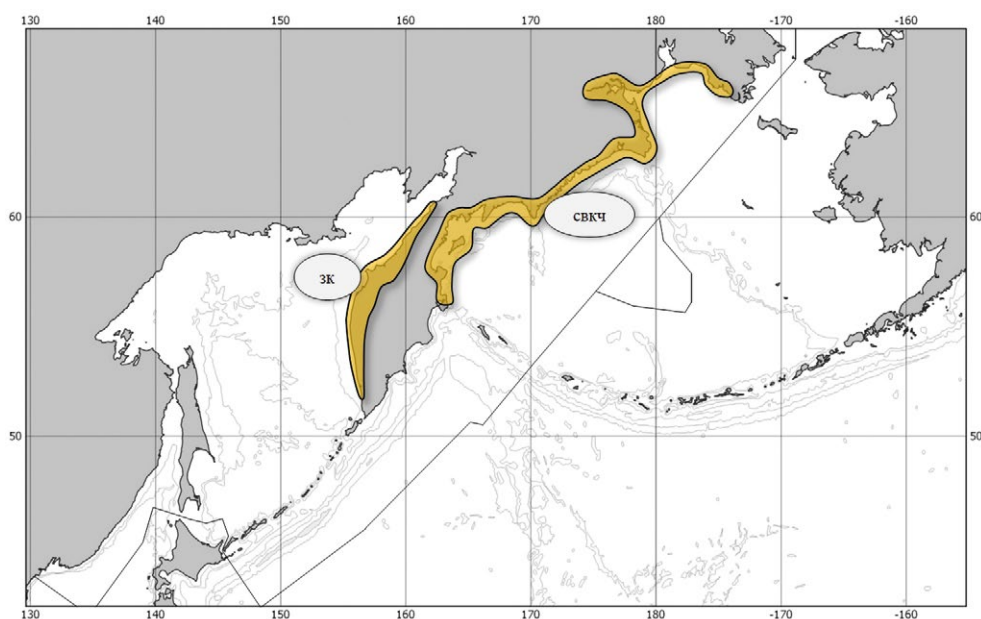


Рис. 6. Карта-схема расположения районов промысла и нереста тихоокеанских лососей у западного побережья Камчатки (зк) и северо-восточного побережья Камчатки и Чукотки (свкч)

Fig. 6. Map of the location of Pacific salmon fishing and spawning areas off the west coast of Kamchatka (зк) and the northeast coast of Kamchatka and Chukotka (свкч)

ности предприятий, отраслевой системы мониторинга. Для доступа и первичной обработки использовали программу «FMS analyst» [Vasilets, 2015]. Используемые материалы по биомассам и уловам морских рыб из указанных выше источников приведены для сравнительного анализа в виде графиков.

Формирование максимумов биомассы морских рыб во многом обусловлено, помимо различного воздействия факторов природной среды, появлением высокочисленных поколений. Для этой цели проанализированы многочисленные научные публикации по урожайности поколений отдельных видов и группировок и показано влияние таких генераций на обилие рыб. Отметим здесь, что воздействие высокоурожайных поколений хорошо заметно на протяжении жизни морских рыб, которая в основном не превышает 25–30 лет у отдельных видов, в среднем составляя 7–15 лет. К примеру, тихоокеанские лососи охвачены промыслом в основном до 7-летнего возраста, навага и терпуги – до 7–8 лет, треска и минтай – до 8–9 лет, тихоокеанская сельдь – до 10–11 лет, желтопёрая камбала – до 14–15 лет, двухлинейная камбала – до 17–18 лет [Науменко, 2001; Датский, Андронов, 2007; Антонов, 2011]. При этом возраст рыб, когда в их биомассе заметно проявляются поколения повышенной численности, изменяется от 1 до 8 лет, а наибольший прирост биомассы, за редким исключением, приходится на 3–6 годы в зависимости от вида.

В рамках обнаружения исходных абиотических и биотических факторов, оказывающих потенциальное влияние на биомассу анализируемых рыб, привлечены многолетние данные изменчивости природной среды [Лучин, 2008; Фигуркин и др., 2008; Хен и др., 2008; 2009; Дьяков Б.С., 2010; Пищальник и др., 2016; 2020; Плотников, Вакульская, 2012; Кузнецов и др., 2013; Волков, 2014; Шунтов, 2016; Берингово-морская..., 2017; Вдовин и др., 2017; Siddon, Zador, 2017; Горбатенко, 2018; Дальневосточное УГМС²]. По причине многочисленности и протяжённости по времени этот материал представлен в программе для управления библиографической информацией Mendeley [Datsky et al., 2021]. Данные по факторам среды синхронизированы с периодом, когда имелась достоверная информация по биомассе и вылову массовых промысловых видов рыб, а также по урожайности их поколений.

Совпадения флуктуаций в динамике обилия рыб, а также их противофазность [Волвенко, 2014], объясняются биотическими и абиотическими факторами, среди которых особый интерес представляют клима-

тические индексы, эффекты от которых могут проявляться с большим запаздыванием, что даёт опору для долгосрочного прогнозирования [Кляшторин, Любушин, 2005]. Ранее нами предпринимались попытки описать вероятные связи изменений численности рыб с абиотическими факторами классическими статистическими методами, например, параметрической корреляцией по Пирсону или непараметрической по Спирмену [Кулик, 2007]. Недостаток такого анализа заключается в его неспособности объективно выделять нелинейные, периодические связи, а также связи, выраженные не через одну, а через множество функций. Особую сложность для выделения представляют последние, т.к. зачастую они, являясь суперпозицией нескольких функций, не могут быть выражены через одну. Они же являются наиболее интересными с биологической точки зрения, т.к. многофакторные связи в природе встречаются чаще, чем однофакторные, и их совместные эффекты могут быть не только аддитивными, но и мультипликативными, например, синергетическими или ингибирующими друг друга. В таком случае множественный регрессионный анализ усложняется даже в случае всего двух ковариатов и требует тщательного отбора кандидатов в предикторы или их представлений в динамическом факторном анализе [Large et al., 2015].

Следовательно, выбор потенциальных предикторов должен быть максимально объективным. Это значит, что мера сходства рядов наблюдений должна равнозначно оценивать различные функциональные (линейные, нелинейные, в т.ч. периодические) и нефункциональные связи с равным шумом. Таким свойством обладает максимальный информационный коэффициент – МИК [Reshef et al., 2011; 2014]. В линейных зависимостях он приближается к квадрату корреляции Пирсона или коэффициенту детерминации, но в отличие от последнего, не занижает меру сходства в нелинейных и более сложных (составных или смешанных) зависимостях и интерпретируется в том же интервале 0–1, где 0 обозначает отсутствие зависимости, а 1 – максимально тесную связь. Так, квадраты корреляций Пирсона и Спирмена (далее – обычные корреляции) в синусоидальных и параболических зависимостях примерно равны 0, а МИК – 1 [Reshef et al., 2011]. Таким образом, ориентируясь на низкие значения коэффициентов обычных корреляций можно пропустить фактически детерминированные зависимости. Однако находимые высокие значения МИК при низких значениях корреляций вычлениают и более сложные смешанные зависимости, которые могут возникать в результате опосредованного влияния скрытых факторов. Это приводит к неочевидной связи

² Дальневосточное УГМС. Доступно через: www.khabmeteo.ru, <http://meteo-dv.ru/geospace/AverageMonthW>. 09.09.2001.

на графиках динамики рядов с высоким МИК. Более того, строгое соответствие объективности данного коэффициента и в линейных связях не считается математически доказанным [Kinney, Atwal, 2014]. В то же время подчёркивается [Reshef et al., 2014], что объективность МИК основана не на математических доказательствах, а на статистических выводах, полученных в результате проведения множества симуляций, в которых альтернативные обычным корреляциям меры сходства существенно проигрывали МИК.

Следуя вышесказанному, сила связи между предиктором (например, ледовитость) и предиктантом (биомасса или вылов) измерялась через максимальный информационный коэффициент (далее – МИК). Она оценивалась как без сдвига рядов, так и со сдвигом потенциального предиктора в прошлое до 5 лет. Эти сдвиги предполагают, что вероятный эффект от изменения указанной выше ледовитости мог иметь наибольшую силу в год рождения особей, т.е. в прошлом относительно суммарных биомасс и уловов. Допускается, что за пять лет рыбы должны были набрать достаточную массу, чтобы проявиться в динамике биомассы или уловов. Связи без задержки представляют интерес как потенциальные предикторы перераспределения рыб, влияющие на их доступность для облова на промысле или во время проведения научных съёмок.

Расчёты МИК произведены с применением языка программирования R и пакета Minerva для коротких рядов [Albanese et al., 2012]. Демонстрация варианта задействования сильных найденных зависимостей проведена с использованием обобщённых аддитивных моделей – OAM [Wood et al., 2015] в пакете mgcv с выбором оптимальной по информационному критерию при настройке с максимальным правдоподобием, а финальная настройка осуществлена по более надёжному, но неподходящему для сравнений по информационным критериям, методу ограниченного маргинального правдоподобия [Wood, 2011]. Отличие OAM от обобщённых линейных моделей (ОЛМ), заключается в добавлении к линейному предиктору части, аппроксимирующей нелинейные связи, например, сплайнами [Hastie, Tibshirani, 1990]. В нашем случае использовали тонкоплёночные регрессионные сплайны [Wood, 2003].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Долговременные исходные данные по различным факторам природной среды являются основой для выявления закономерностей формирования обилия морских рыб. Связь воздействия среды и численности рыб не всегда отчётливо выражена и зачастую неод-

нозначна в силу большого количества промежуточных факторов [Колесник, 2002а, б; Кулик, 2009], влияющих на климат и биоту и действующих одновременно. В то же время это влияние существует и во многом достоверно проявляется не только на глобальных совокупностях, но и на мелких, региональных группировках с более тонкими настройками факторов природной среды [Колесник, 2002б]. В этой связи, прежде чем говорить о потенциальном влиянии факторов среды на обилие морских рыб Северной Пацифики необходимо кратко охарактеризовать динамику их запасов.

Наибольшие биомассы среди рыб в районе исследований формируют минтай и сельдь (рис. 7 а), пелагические виды, образующие промысловые скопления и в придонных слоях. Максимальное обилие сельди наблюдалось в 1950–1960-е и 2010-е гг. Некоторый рост её биомассы отмечался и в 1983–1986 и 1997–2002 гг., однако в целом с 1970 по 2009 гг. выявлено сравнительно невысокое обилие этого вида. Повышенная суммарная биомасса минтая, наоборот, была высока в 1980-е гг., и, в меньшей степени, в 1990-е и 2010-е гг. Периоды с середины 1960-х до начала 1980-х гг. и с середины 1990-х гг. до 2010 г. характеризовались существенно меньшим его обилием. Сходную с минтаем динамику биомасс показывали треска и навага (рис. 7 б), с той лишь разницей, что максимумы их обилия смещены на 1990-е и 2010-е гг. Наибольшая биомасса желтопёрой камбалы отмечена в 1950-е и 1980–1990-е гг., северного однопёрого терпуга – в 1998–2009 гг. (рис. 7 б).

Уловы горбуши, кеты и нерки у западного и северо-восточного побережий Камчатки и Чукотки планомерно возрастали с 1980-х гг. и достигли максимума в 2010-х гг. Динамика их обилия в основном развивалась сходным образом, за исключением снижения вылова горбуши в 2013–2015 гг. (рис. 8). Напротив, в этот период отмечен рост уловов кижуча, который после минимума вылова в 1990-е гг., с 2007 г. показывает существенную положительную динамику на промысле. Уловы чавычи всегда были невысоки, достигнув в 2000-х гг. минимальных значений.

Общая динамика обилия анализируемых видов естественным образом не отражает флуктуации численности отдельных группировок морских рыб, вследствие региональных особенностей исследуемых акваторий и различающихся условий обитания рыб в них. Так, в 1970-е гг. наблюдались довольно высокие биомассы западноберинговоморской и восточнокамчатской популяций минтая, рыб у северо-восточного Сахалина и Приморья. В 1980-е гг. наибольшие значения обилия показали восточно-, западноберинговоморская и восточноохотоморская группировки, а также

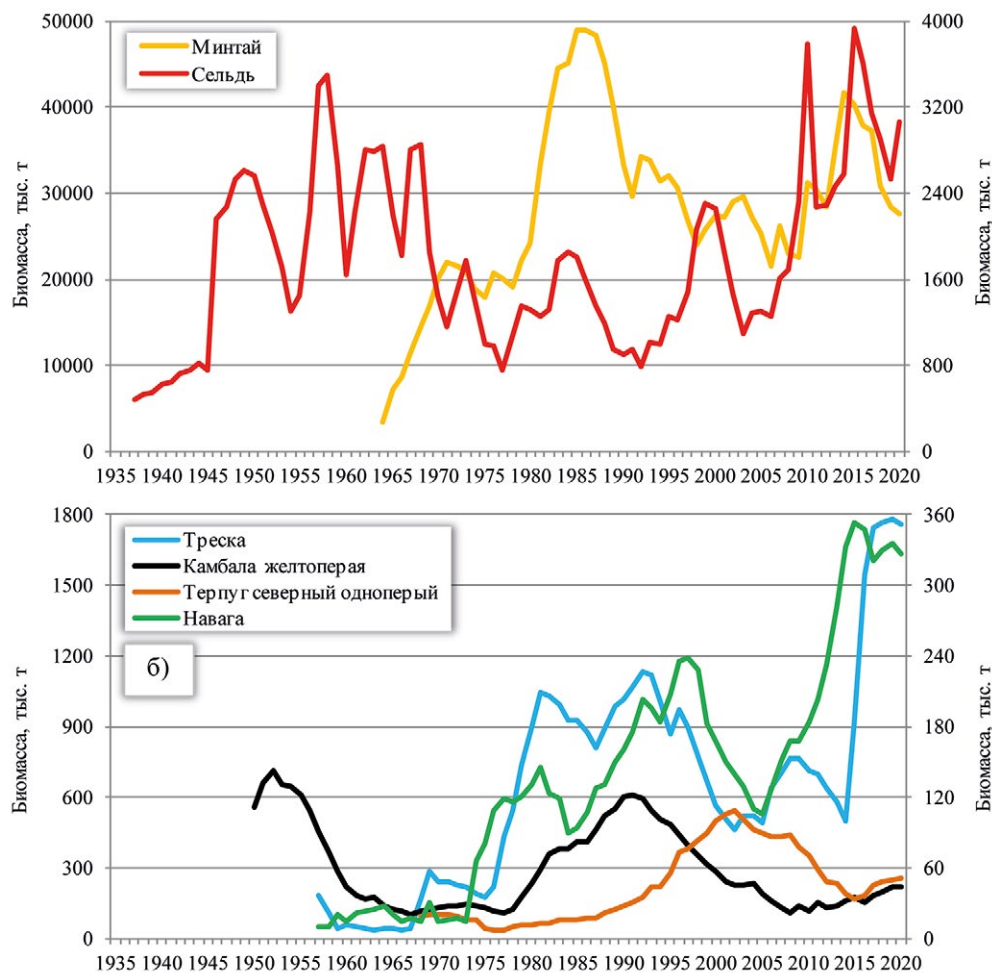


Рис. 7. Суммарная биомасса (тыс. т) массовых промысловых рыб в дальневосточных морях, тихоокеанских водах Камчатки и северных и южных Курильских островов в 1937–2020 гг.: а – минтай (левая шкала), сельдь (правая шкала); б – треска (левая шкала), прочие виды (правая шкала)

Fig. 7. Total biomass (thousand tons) of commercial fish in the Far Eastern seas, the Pacific waters of Kamchatka and the northern and southern Kuril Islands in 1937–2020. а – walleye pollock (left vertical scale), Pacific herring (right); б – Pacific cod (left scale), other species (right scale)

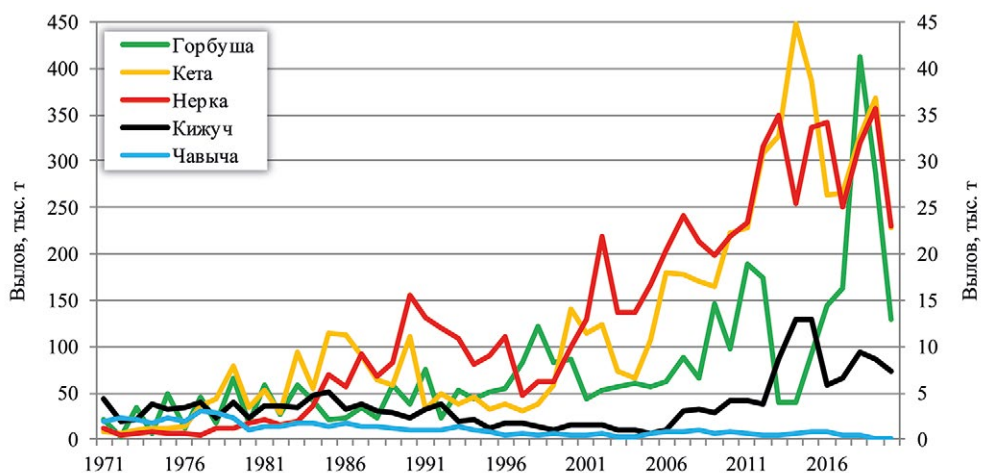


Рис. 8. Суммарный вылов (тыс. т) тихоокеанских лососей у западного и северо-восточного побережья Камчатки и Чукотки в 1971–2020 гг.: горбуша (левая шкала), прочие виды (правая шкала)

Fig. 8. Total catch (thousand tons) of Pacific salmon off the western and northeastern coast of Kamchatka and Chukotka in 1971–2020: pink salmon (left vertical scale), other species (right scale)

THE DYNAMICS OF THE ABUNDANCE OF COMMERCIAL FISH IN THE FAR EASTERN SEAS AND ADJACENT AREAS OF THE OPEN PART OF THE PACIFIC OCEAN AND FACTORS INFLUENCING IT

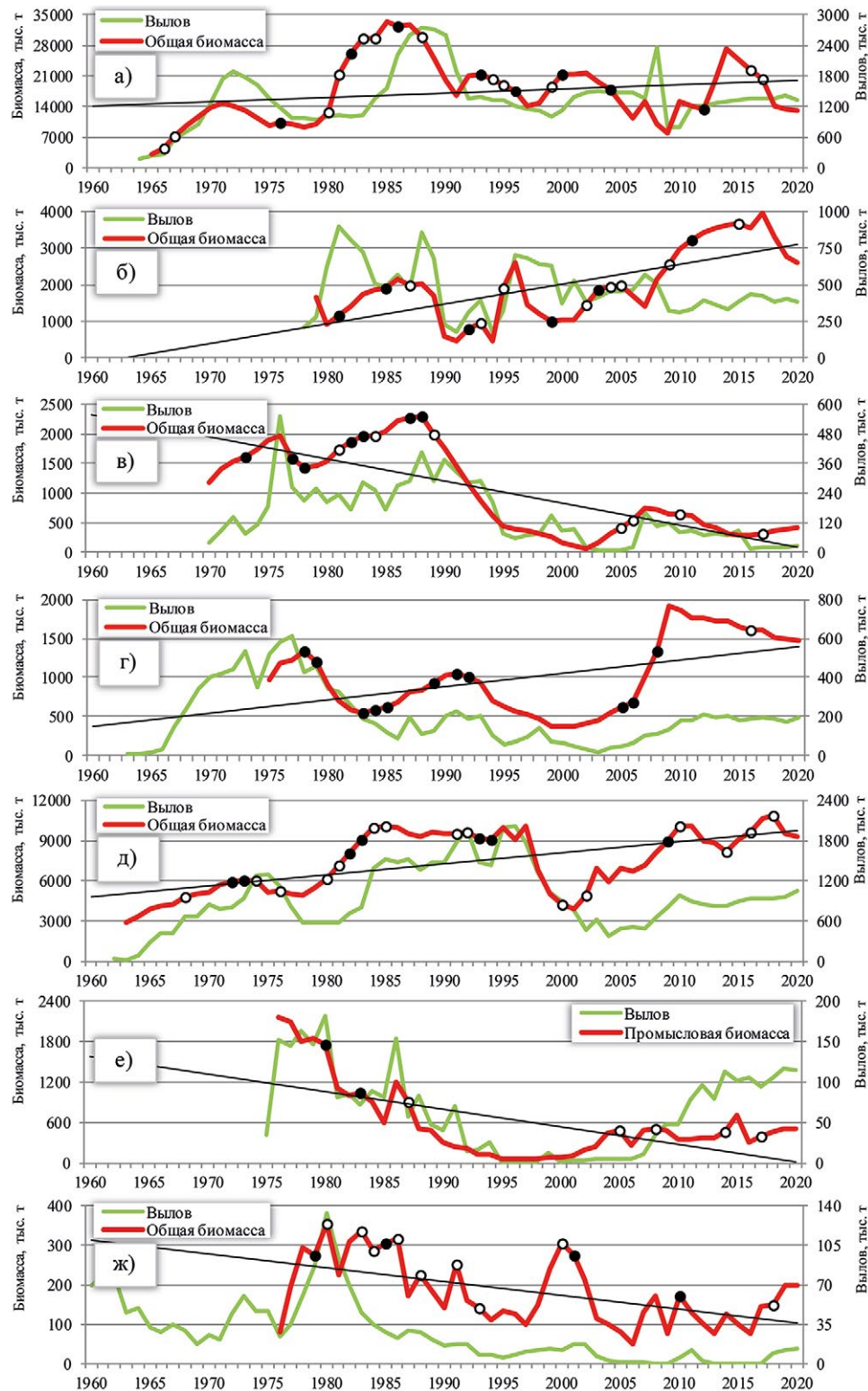


Рис. 9. Биомасса и вылов (тыс. т) группировок минтая в дальневосточных морях, тихоокеанских водах Камчатки и северных Курильских островов: а – восточноберинговоморская, б – анадырско-наваринская, в – западноберинговоморская, г – восточнокамчатская, д – восточноохотоморская, е – минтай северо-восточного Сахалина, ж – минтай Японского моря (Приморье). Кружками (чёрные – суперурожайные, белые – урожайные) показано влияние на биомассу рыб поколений высокой численности, прямыми линиями – тренд изменения биомассы

Fig. 9. Biomass and catch (thousand tons) of walleye pollock groups in the Far Eastern seas, Pacific waters of Kamchatka and the northern Kuril Islands. а – East Bering Sea, б – Anadyr-Navarin Sea, в – West Bering Sea, г – East Kamchatka Sea, д – East Okhotsk Sea, е – northeastern Sakhalin, ж – Sea of Japan (Primorye). The circles (black – super yielding, white – yielding) show the effect of generations of high abundance on the biomass of fish, straight lines – the trend of biomass change

приморский минтай. Относительно высокая биомасса в 1990-е гг. была замечена только у минтая северо-восточной части Охотского и северо-западной части Берингова морей. С начала 2000-х гг. и по настоящий момент максимальное обилие данного вида выявлено у анадырско-наваринской, восточнокамчатской и восточноохотоморской группировок, прочие популяции, за

исключением рыб из восточной части Берингова моря, находятся на своём минимуме (рис. 9). В целом общий тренд на увеличение обилия за весь период наблюдений отмечается у восточноберингоморской, анадырско-наваринской, восточнокамчатской и восточноохотоморской группировок минтая, у остальных биомасса имеет тенденцию к снижению (табл. 1).

Таблица 1. Общая характеристика обилия основных промысловых рыб в дальневосточных морях, тихоокеанских водах Камчатки и северных и южных Курильских островов в 1937–2020 гг.

Table 1. General characteristics of the abundance of the main commercial fish in the Far Eastern seas, Pacific waters of Kamchatka and the northern and southern Kuril Islands in 1937–2020

Вид, группировка	Период исследований	Тренд изменения биомассы (вылова)	Среднее значение биомассы / вылова (пределы), тыс. т	Периоды биомассы (вылова) выше среднего значения
Минтай восточноберингоморский (США)	1965–2020	Повышение	17 318,5 (3225–33425)	1981–1990, 1992–1996, 1999–2004, 2013–2017
Минтай восточноохотоморский	1963–2020	Повышение	7 386,7 (2950–10900)	1982–1997, 2008–2020
Минтай анадырско-наваринский	1979–2020	Повышение	1 990,1 (445–3970)	1986, 1988–1996, 2005, 2008–2020
Минтай западноберингоморский	1970–2020	Снижение	1 017,1 (63–2306)	1970–1992
Минтай восточнокамчатский	1975–2020	Повышение	1006,5 (373–1917)	1976–1979, 1990–1992, 2009–2020
Минтай северо-восточного Сахалина	1976–2020	Снижение	596,7 (50–2150)	1976–1987, 2015
Минтай Японского моря (Приморье)	1976–2020	Снижение	179,7 (48–355)	1977–1989, 1991, 1999–2002, 2019, 2020
Треска анадырско-наваринская	1968–2020	Повышение	326,0 (12–1470)	2007–2011, 2015–2020
Треска западнокамчатская	1957–2020	Повышение	171,1 (35–440)	1957, 1972, 1978–2000
Треска карагинская	1970–2020	Снижение	132,9 (25–350)	1978–1986, 1988–1996, 1999, 2005
Треска восточнокамчатская	1977–2020	Снижение	98,9 (38–274)	1979–1990
Треска южнокурильская	1981–2020	Снижение	44,3 (27–86)	1981–1989, 2017, 2019–2020
Треска западносахалинская	1983–2020	Снижение	18,1 (6–37)	1983–1992, 2017–2020
Навага карагинская	1974–2020	Повышение	74,8 (26–215)	1980–1983, 2010–2020
Навага западнокамчатская	1957–2020	Повышение	62,9 (4–178)	1990–2001, 2007–2020
Навага залива Терпения (вост. Сахалин)	1974–2020	Снижение	27,0 (16–50)	1976–1981, 1986–1989, 1995–2003, 2010
Терпуг северн. одноперый вост. Камчатки, сев. Курил	1968–2020	Повышение	222,6 (35–545)	1995–2013, 2017–2020
Терпуг южный одноперый южных Курил	1977–2020	На одном уровне	13,0 (2–38)	1977–1980, 1996–2005, 2011–2013
Камбала двухлинейная восточнокамчатская	1955–2020	Повышение	48,4 (20–94)	1955–1960, 1983–2004, 2018
Камбала желтопёрая западнокамчатская	1950–2020	Снижение	226,1 (44–570)	1950–1958, 1981–1998
Камбала желтопёрая карагинская	1951–2020	Снижение	30,6 (9–71)	1951–1958, 1982–1986, 1990–2002, 2007–2008
Камбала желтопёрая залива Терпения (вост. Сахалин)	1950–2020	Повышение	28,3 (8–47)	1950–1967, 1990–1997, 2009–2018
Камбала желтопёрая западносахалинская	1950–2020	Снижение	10,7 (4–45)	1950–1966
Сельдь охотская	1946–2020	Повышение	913,5 (70–2271)	1946–1952, 1963–1965, 1967–1969, 1972–1974, 1984–1985, 2005, 2007–2020

Вид, группировка	Период исследований	Тренд изменения биомассы (вылова)	Среднее значение биомассы / вылова (пределы), тыс. т	Периоды биомассы (вылова) выше среднего значения
Сельдь корфо-карагинская	1937–2020	Снижение	504,3 (60–1900)	1938–1963, 1998–2001
Сельдь восточноберинговоморская (РФ)	1959–2020	Повышение	383,4 (5–1895)	1962–1969, 1981–1985, 2009–2018
Сельдь гижигинско-камчатская	1946–2020	Снижение	241,1 (50–950)	1954–1959, 1961–1964, 1966–1968, 1988, 1990–1992, 1998–2002, 2012–2018
Сельдь восточноберинговоморская (США)	1987–2020	Повышение	207,0 (152–305)*	1988, 1993, 1995, 2004, 2005, 2008, 2012, 2013, 2017–2019
Горбуша северо-восточного побережья	1971–2020	Повышение	42,6 (1,2–228,1)	1989, 1991, 1993, 1995, 1997, 1999, 2003, 2005, 2007, 2009, 2011, 2015–2019
Горбуша западного побережья	1971–2020	Повышение	32,1 (0,1–301,3)	1983, 1994, 1996, 1998, 2000, 2002, 2004, 2006, 2008, 2010, 2012, 2016, 2018–2020
Нерка западного побережья	1971–2020	Повышение	11,8 (0,2–32,1)	1990, 1991, 2002–2020
Кета северо-восточного побережья	1971–2020	Повышение	6,5 (0,5–22,3)	1979, 1983, 1986, 1987, 1990, 2000, 2001, 2005–2019
Кета западного побережья	1971–2020	Повышение	5,7 (0,1–26,2)	1996, 2007–2020
Кижуч северо-восточного побережья	1971–2020	Снижение	2,1 (0,2–3,9)	1971, 1974–1977, 1979, 1981–1989, 1991, 1992, 2013–2015, 2018, 2019
Кижуч западного побережья	1971–2020	Повышение	1,7 (0,1–9,6)	1985, 2010–2020
Нерка северо-восточного побережья	1971–2020	Повышение	1,2 (0,1–4,9)	1999, 2006–2020
Чавыча северо-восточного побережья	1971–2020	Снижение	1,0 (0,02–2,87)	1971–1979, 1981–1989, 1993
Чавыча западного побережья	1971–2020	Снижение	0,1 (0,02–0,35)	1971–1979, 1981–1988, 1991–1998

Примечание: У тихоокеанских лососей анализировали уловы, у прочих рыб – биомассу; * – данные за период с 2000 по 2015 гг.

У трески самый длинный ряд наблюдений выявлен для западнокамчатской группировки, биомасса которой планомерно увеличивалась с начала 1960-х гг., достигнув максимальных значений в 1990-е гг. Сходная динамика обилия отмечена и для карагинской трески. Напротив, популяции трески восточнокамчатской, южнокурильской и западносахалинской формировали пики биомасс в 1980-е гг. В начале 2000-х гг. высоких значений биомассы трески по району исследований не наблюдалось, за исключением увеличения в 2007–2010 гг. запасов анадырско-наваринской и южнокурильской группировок. И только в 2015–2020 и 2016–2020 гг. соответственно в анадырско-наваринском районе Берингова моря и у берегов западного Сахалина обилие этого вида тресковых рыб резко возросло (рис. 10). В целом, за весь период исследований выявлена тенденция роста биомассы трески северо-западной части Берингова моря и западной Камчатки, у прочих группировок отмечено снижение запасов (табл. 1).

Из рассмотренных трёх популяций наваги две (карагинская и западнокамчатская) обнаруживают постепенный рост биомассы, одна (у восточного Сахалина) –

снижение (табл. 1, рис. 11). При этом у берегов северо-восточной Камчатки данный вид формировал пики обилия в конце 1970-х – начале 1980-х и в 2010-е гг., у западной Камчатки – в 1990-е и 2010-е гг. У восточного Сахалина максимумы обилия рыб примерно в схожих масштабах (за исключением 2000-х гг.) наблюдались в середине каждого десятилетия.

Два вида однопёрых терпугов (северный и южный) с середины 1980-х гг. показывали сходную динамику биомасс с максимумом в 2000–2004 гг. При этом первый вид, в основном обитающий у берегов юго-восточной Камчатки и северных Курильских островов, несмотря на постепенное снижение в 2000-е гг., все же обнаруживает общий рост обилия. Второй вид, живущий у южных Курильских островов, за счёт высокой биомассы в середине 1970-х гг. не показывает тенденций к снижению или росту запасов (табл. 1, рис. 12). Надо отметить, что камчатско-курильская популяция северного однопёрого терпуга имеет обширное распространение, но районы обитания рыб весьма обособлены [Золотов и др., 2015]. Поэтому не исключено, что продолжительный максимум биомассы данной популяции в 1995–2011 гг. вполне мог

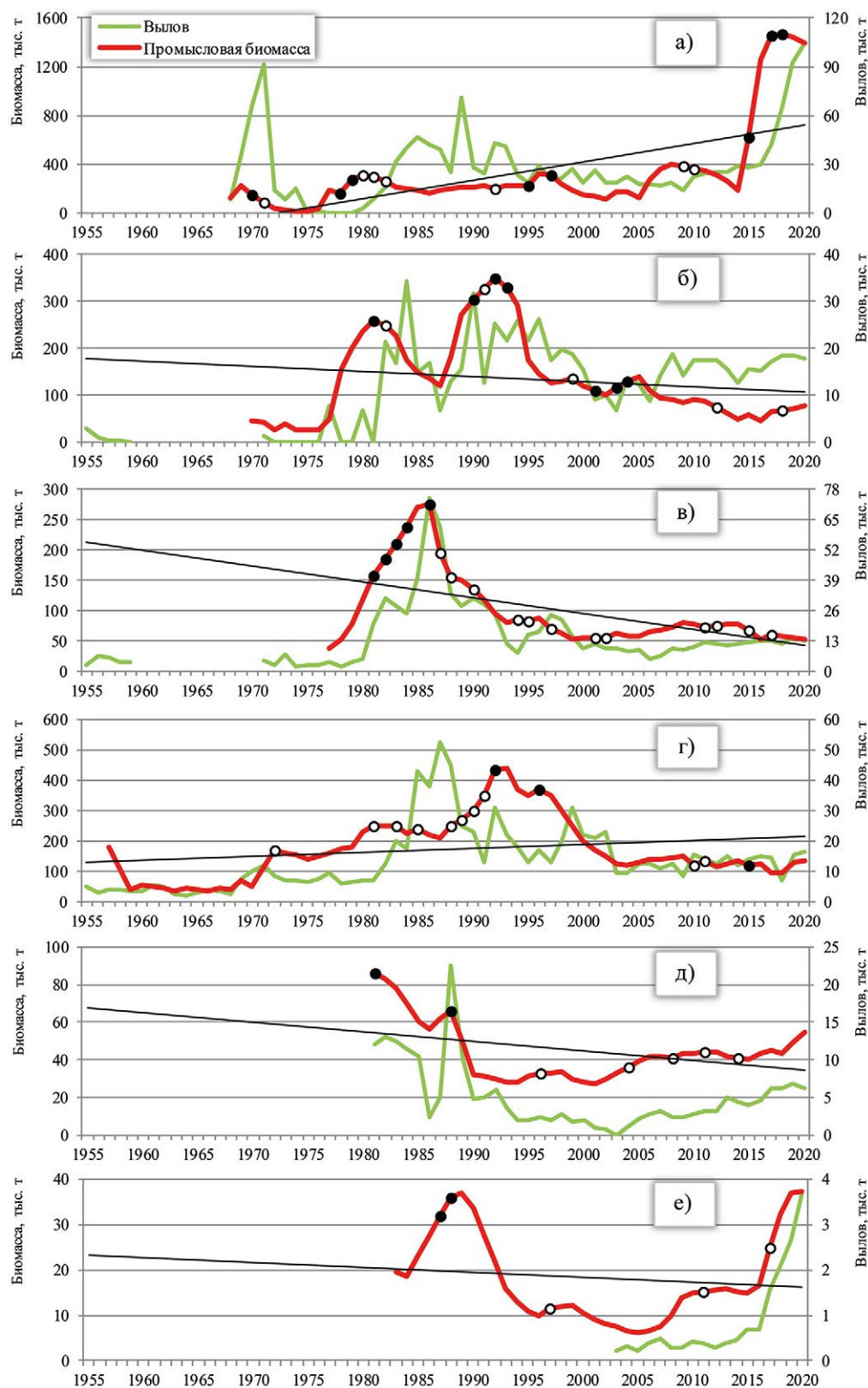


Рис. 10. Промысловая биомасса и вылов (тыс. т) группировок трески в дальневосточных морях, тихоокеанских водах Камчатки, северных и южных Курильских островов: а – анадырско-наваринская, б – карагинская, в – восточнокамчатская, г – западнокамчатская, д – южнокурильская, е – западносахалинская. Обозначения как на рис. 9

Fig. 10. Biomass and catch (thousand tons) of Pacific cod groups in the Far Eastern seas, the Pacific waters of Kamchatka, the northern and southern Kuril Islands. а – Anadyr-Navarinsky, б – Karaginsky, в – East Kamchatka, г – West Kamchatka, д – South Kuril, е – West Sakhalin. Designations as in figure 9

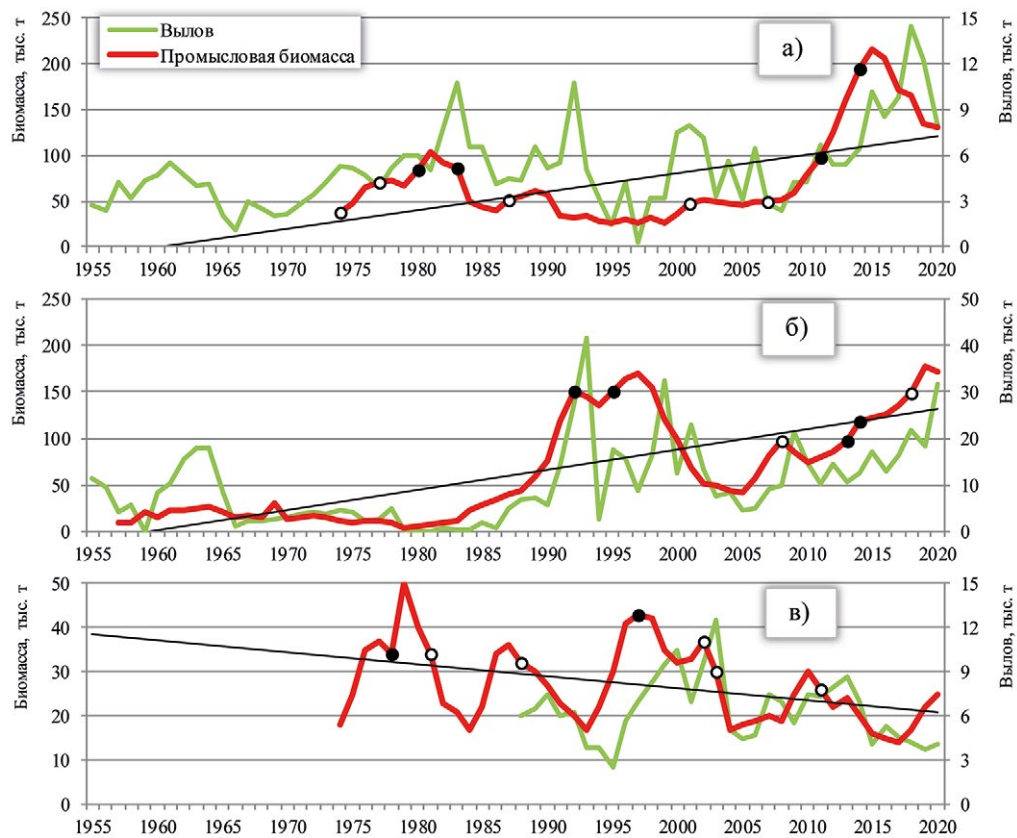


Рис. 11. Промысловая биомасса и вылов (тыс. т) группировок наваги в дальневосточных морях: а – карагинская, б – западнокамчатская, в – навага залива Терпения (юго-восточный Сахалин). Обозначения как на рис. 9

Fig. 11. Biomass and catches (thousand tons) of saffron cod groups in the Far Eastern seas. а – Karaginsky, б – western Kamchatka, в – Terpeniya Bay (southeastern Sakhalin). Designations as in figure 9

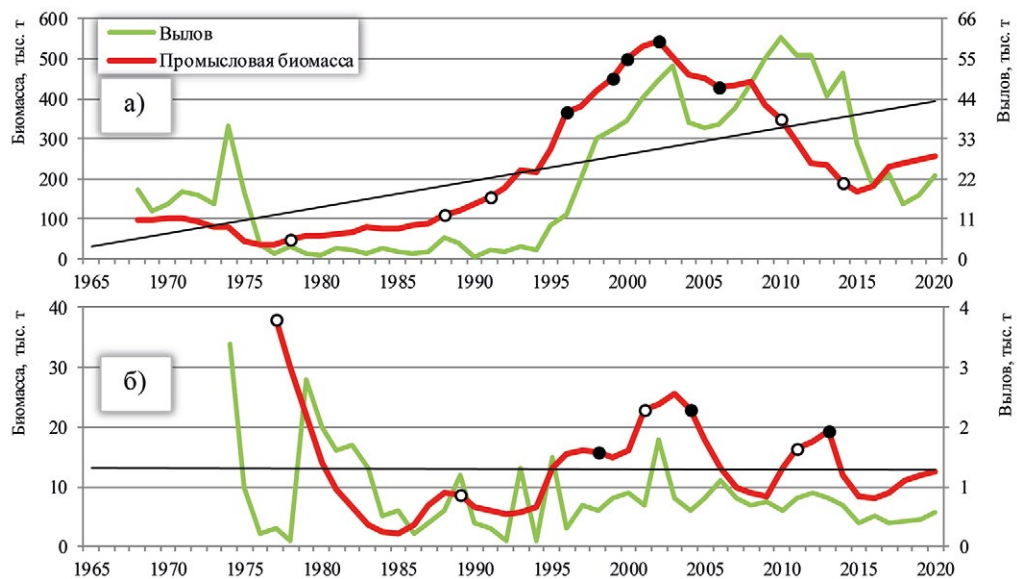


Рис. 12. Промысловая биомасса и вылов (тыс. т) северного однопёрого (а) и южного однопёрого (б) терпугов в дальневосточных морях, тихоокеанских водах Камчатки, северных и южных Курильских островов. Обозначения как на рис. 9

Fig. 12. Biomass and catch (kt) of Atka mackerel (а) and Okhotsk atka mackerel (б) in the Far Eastern seas, Pacific waters of Kamchatka, northern and southern Kuril Islands. Designations as in figure 9

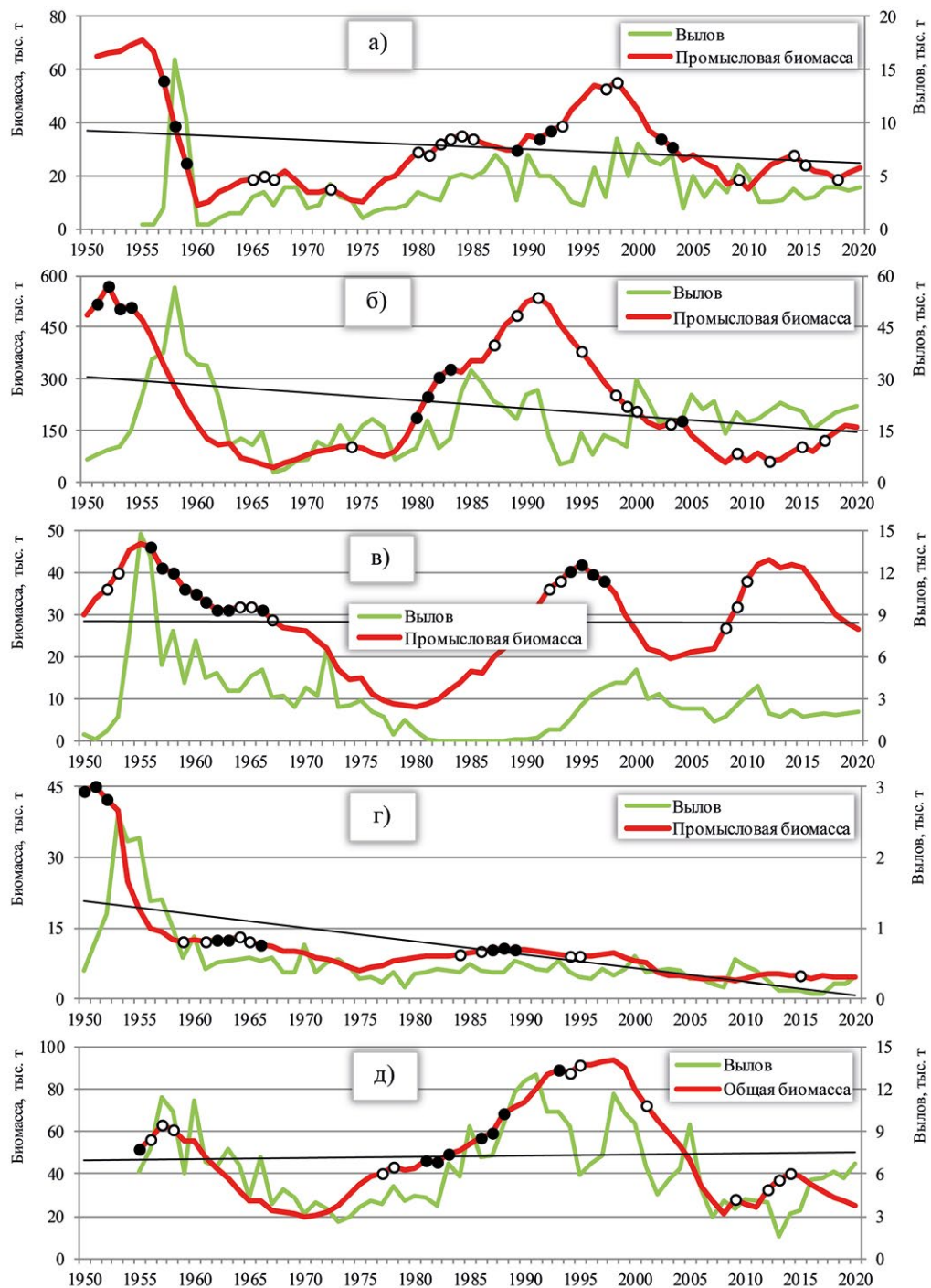


Рис. 13. Биомасса и вылов (тыс. т) группировок желтопёрой (а-г) и двухлинейной (д) камбал в дальневосточных морях, тихоокеанских водах Камчатки и северных Курильских островов: а – желтопёрая карагинская, б – желтопёрая западнокамчатская, в – желтопёрая залива Терпения (юго-восточный Сахалин), г – желтопёрая западносахалинская, д – северная двухлинейная восточнокамчатская. Обозначения как на рис. 9

Fig. 13. Biomass and catch (thousand tons) of groups of yellowfin sole (a-r) and northern rock sole (д) in the Far Eastern seas, Pacific waters of Kamchatka and the northern Kuril Islands. а – yellowfin sole of Karaginsky, б – yellowfin sole of Western Kamchatka, в – yellowfin sole of Terpeniya Bay (southeastern Sakhalin), г – yellowfin sole of West Sakhalin, д – northern rock sole of East Kamchatka. Designations as in figure 9

быть сформирован из разнонаправленной динамики обилия отдельных групп рыб, образующих скопления у мысов, островов и в проливах юго-восточной

Камчатки и северных Курильских островов. Однако материалы по уловам и обилию данного терпуга, изначально собранные с локальных акваторий, как пра-

вило, усредняются исследователями, исходя из соображения, что популяция является единицей промысла.

Желтопёрая камбала формировала наибольшую биомассу в 1950-е и 1980–1990-е гг. После 1950-х гг. пики биомассы западнокамчатской, восточносахалинской и карагинской группировок наблюдались соответственно в начале, середине и конце 1990-х гг. В 1980-е гг. обилие этого вида было высоким только у западного и северо-восточного побережий Камчатки. С начала 2000-х гг. биомасса всех группировок желтопёрой камбалы, за исключением рыб у восточного Сахалина, снизилась и на настоящий момент находится на сравнительно низком уровне. Ещё у одно-

го вида камбал – северной двухлинейной, наибольшие скопления выявлены у берегов юго-восточной Камчатки в 1950-е и 1980–1990-е гг. Причём, этот вид, наряду с желтопёрой камбалой залива Терпения, обнаруживает небольшой положительный тренд изменения обилия за счёт роста биомассы с 2012 г. (табл. 1, рис. 13).

Если рассматривать биомассу сельди, то можно заметить её высокую биомассу в 1940–1960-х и 2000-х гг. Напротив, с конца 1970-х по конец 1990-х гг., когда наблюдался рост обилия тресковых рыб, сельдь имела сравнительно низкие запасы. В то же время динамика биомасс сельди отдельных группировок существенно

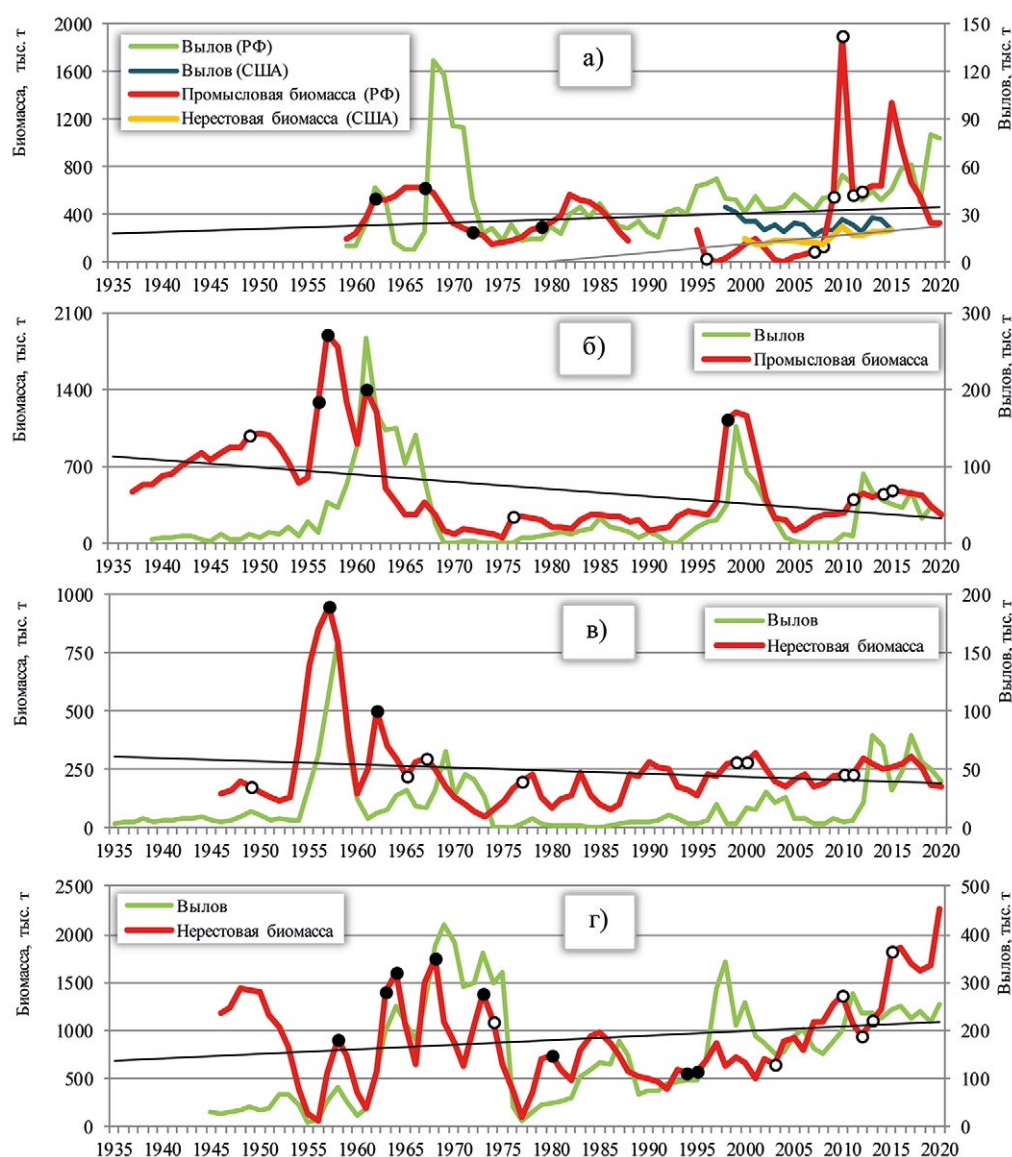


Рис. 14. Биомасса и вылов (тыс. т) популяций тихоокеанской сельди в Беринговом и Охотском морях: а – восточнберингоморская, б – корфо-карагинская, в – гижигинско-камчатская, г – охотская. Обозначения как на рис. 9

Fig. 14. Biomass and catch (thousand tons) of populations of Pacific herring in the Bering and Okhotsk seas. а – East Bering Sea, б – Korf-Karaginsky, в – Gizhiginsky-Kamchatka, г – Okhotsk. Designations as in figure 9

различалась (табл. 1, рис. 14). Так, выявлены синхронные изменения обилия корфо-карагинской и гижинско-камчатской сельди, наибольшие запасы которых наблюдались в 1950–1960-х и в конце 1990-х – начале 2000-х гг. Восточноберингоморская и охотская сельди обнаруживали схожую динамику обилия между собой с максимумами в 1961–1973 и 2009–2020 гг. При этом их биомасса была сравнительно высока и в 1980-е гг. Подобную сопряжённость численности сельди вышеуказанных популяций друг с другом, а также с минтаем отмечали и ранее [Науменко, 2001; Балыкин, Золотов, 2010].

Полномасштабный промысел горбуши осуществляется с переменным успехом у западного побережья Камчатки и северо-восточного побережья Камчатского и Чукотского полуостровов. Причём, до 1985 г. уловы вида в обоих районах изменялись синхронно, в последующем – после перестройки в структуре стад западной Камчатки в 1981–1984 гг., запасы рыб изменялись в противофазе. В первом районе численность рыб была высокой в 1990-х и 2007–2011, 2015–2019 гг., во втором – в середине 1980-х – конце 1990-х и 2004–2012, 2016–2020 гг. В целом, исключая anomalously низкие уловы горбуши в берингоморских водах Камчатки и Чукотки в 2012–2014 гг. и у западного побережья Камчатки в 2013–2015 гг., наблюдается общий рост её запасов (табл. 1, рис. 15 а).

Кета у берегов северо-восточной Камчатки и Чукотки заметно выделялась своим обилием с конца 1970-х до начала 1990-х гг., а также в 1999–2002 гг. С 2005 по 2019 гг. наблюдался экстремальный подъём запасов этой региональной группировки вида. У западной Камчатки повышенные уловы кеты отмечены в середине 1980-х и с начала 2000-х гг. по настоящий момент, причём, с 2010 г. её уловы по величине превысили берингоморские. В целом в изменении обилия этой рыбы с обеих сторон Камчатского полуострова наблюдается определённое сходство с некоторым запаздыванием максимумов вылова на год у группировки, нерестящейся в пределах Охотского моря (табл. 1, рис. 15 б).

У нерки ситуация обратная: по численности и соответственно вылову преобладает группировка западной Камчатки, наибольшие уловы которой отмечены в 1987–1996 гг. и с 2000 г. по настоящее время. Нерка Берингова моря имеет меньшую численность, её повышенное обилие наблюдалось в 1995–2001 и 2006–2020 гг. (табл. 1, рис. 15 в). Определённая синхронность подходов рыб в нерестовые реки в обеих группировках выявлена лишь с 2006 г., до этого они изменялись разнонаправленно. Необходимо отметить, что практически сходная динамика вылова нер-

ки в Охотском и Беринговом морях после 2012 г. характеризуется годовым запаздыванием максимумов уловов рыб в последнем районе.

Исторически сложилось, что кижуча облавливали в больших объёмах у северо-восточного побережья Камчатки. Обилие рыб здесь отмечено на высоком уровне в 1970–1994 и 2013–2019 гг. Группировка кижуча в пределах охотоморских вод формировала редкие подъёмы численности в 1984–1985, 1990–1992 гг. Ситуация изменилась с 2010 г., когда уловы здесь резко возросли и превысили аналогичные показатели берингоморских рыб. В целом за период наблюдений обилие кижуча в рассматриваемых районах менялось сходным образом, достигнув максимальных величин в 2013–2019 гг. (табл. 1, рис. 15 г).

Чавыча – самый крупный и относительно малочисленный вид тихоокеанских лососей, который добывается приловом к остальным лососям. Основные её уловы приурочены к юго-западной части Берингова моря, где она имела высокую численность в 1970–1980-х гг. В последующем ежегодный вылов сокращался, достигнув минимума в 2003 г. (табл. 1, рис. 15 д). Некоторый рост обилия чавычи отмечен в 2005–2016 гг., однако в 2017–2020 гг. её уловы опять снизились. У западного побережья Камчатки вылов изменялся похожим образом, однако он невелик для корректной интерпретации полученной информации.

Таким образом, в динамике обилия анализируемых морских рыб, наряду с некоторым сходством у ряда видов и популяционных группировок, в отдельные годы отмечены и значимые отличия (рис. 9–15). Обусловлено это, в первую очередь, многофакторным внешним воздействием на рыб различных факторов природной среды, зачастую специфичных в пределах обитания гидробионтов. К примеру, тихоокеанские лососи с обоих побережий Камчатки, за исключением горбуши, в морской период жизни нагуливаются в сходных районах в северо-западной части Тихого океана [Атлас..., 2002]. Однако возвращаясь с нагула в места нереста, а позже молодью скатываясь из рек в море, они попадают в различающуюся природную среду, оказывающую определяющее влияние на их выживание и численность. В качестве примера можно привести ряд публикаций по тихоокеанским лососям [Островский, 2011; 2014; Фельдман, Шевляков, 2015], в которых показан сложный характер влияния факторов среды на численность поколений рыб на фоне внутривидовых особенностей видов. При этом основные причины изменчивости их численности в отдельных водоёмах могут быть сходными, но роль конкретных факторов (сила влияния) специфична для конкретного вида и района воспроизводства. То же

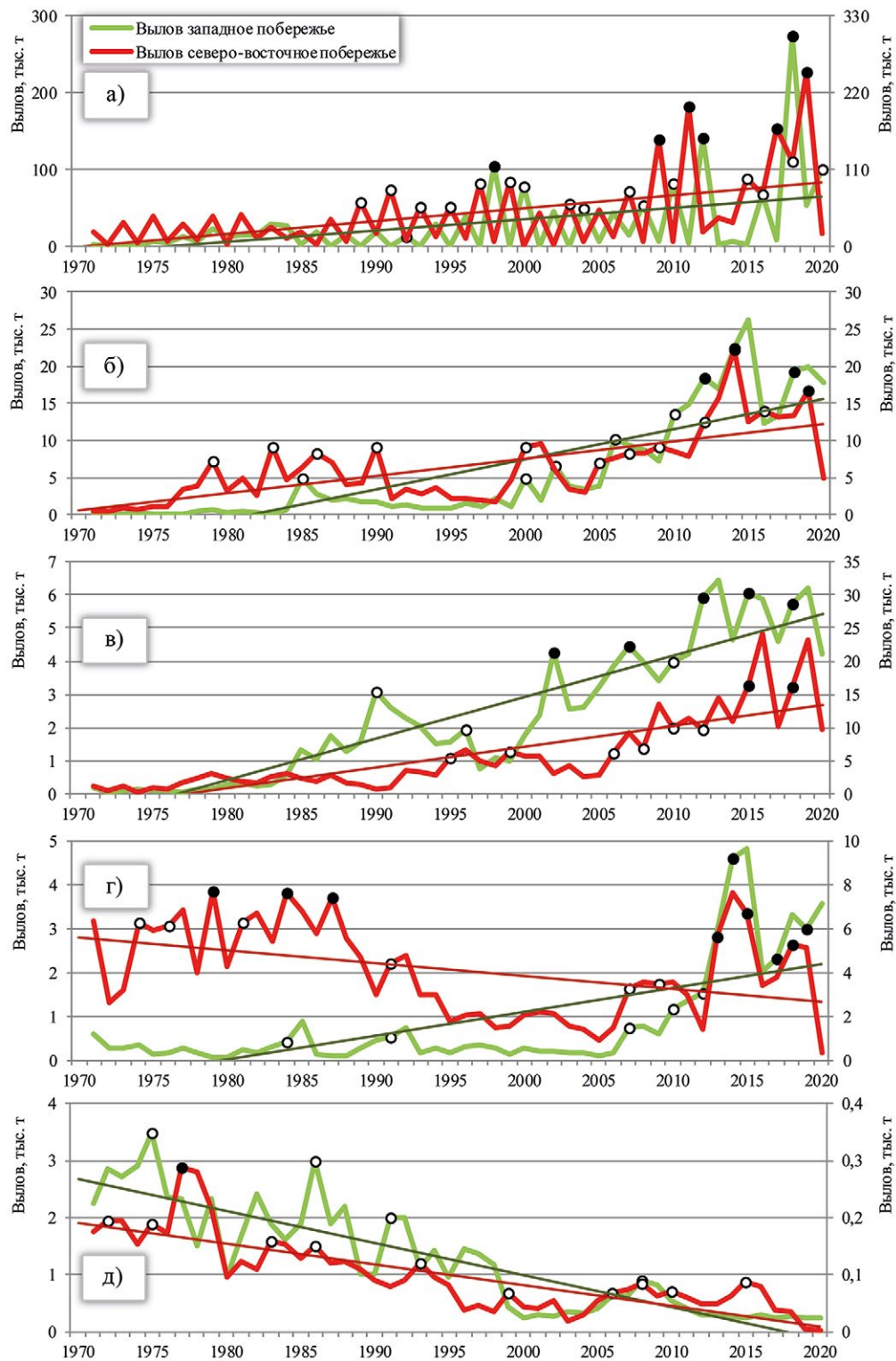


Рис. 15. Вылов (тыс. т) тихоокеанских лососей у западного побережья Камчатки (шкала справа) и северо-восточного побережья Камчатки и Чукотки (шкала слева): а – горбуша, б – кета, в – нерка, г – кижуч, д – чавыча. Кружками (чёрные – суперурожайные, белые – урожайные) показано влияние на обилие рыб поколений высокой численности, прямыми линиями – тренды изменения уловов

Fig. 15. Catches (thousand tons) of Pacific salmon off the western coast of Kamchatka and the northeastern coast of Kamchatka and Chukotka. а – pink salmon, б – chum salmon, в – sockeye salmon, г – coho salmon, д – chinook salmon. The circles (black – super yielding, white – yielding) show the effect of generations of high abundance on the abundance of fish, straight lines – trends in catches

можно сказать и про других морских рыб, которые, не имея столь своеобразного жизненного цикла, также обитают в нестабильных условиях среды, весьма различающихся в ходе нагульных, нерестовых и зимовальных миграций видов.

Очевидно, что наиболее уязвимы (высокая естественная смертность) рыбы на ранних стадиях развития (личинки, сеголетки и годовики). В пределах первого года жизни молодь переходит на другой тип питания, у неё обозначаются смена биотопов и расширение ареалов с соответствующей адаптацией к новым условиям среды, включая повышенное давление хищников. Как правило, именно в годовалом возрасте закладывается будущая численность рыб, важность учёта особей этой возрастной категории отражена рядом исследователей [Дементьева, 1961; Науменко, 2001; Максименков, 2002; Балыкин, 2006]. Высокочисленные поколения рыб, обнаружившие себя на стадии сеголеток и годовиков, в дальнейшем даже при неблагоприятных условиях среды их обитания, как правило, преобладают в уловах и, достигнув половой зрелости, формируют основу для успешного и, в некоторых случаях, долговременного промысла. Другой особенностью появления урожайных поколений является их цикличность, которая у каждого вида или популяции имеет свою периодичность.

В этой связи для морских рыб, по которым имелись долговременные данные по биомассам (общей, промысловой или нерестовой), были найдены встречающиеся в научной литературе упоминания о появлении урожайных поколений. В общей сложности привлечены данные 380 поколений 27 запасов рыб (табл. 2). С учётом информации о возрасте рыб, в котором они начинают проявлять себя заметным увеличением биомассы, такие генерации впоследствии отмечали на графиках долговременных рядов обилия (рис. 9–14). К примеру, пик биомассы у корфо-карагинской сельди в 1998–2000 гг. преимущественно сформирован урожайным поколением 1993 г. [Науменко, 2001; Шунтов, 2016], у западноберингово-морского минтая генерациями 2001, 2002, 2006 гг. обеспечено высокое обилие рыб в 2008–2011 гг., а у минтая восточной Камчатки поколениями 2000, 2001, 2003 гг. – в 2009–2012 гг. [Антонов, 2011].

Для тихоокеанских лососей, в силу скудности исходных данных об урожайных поколениях, численность генераций определялась предположительно, исходя из среднего возраста массового захода рыб в реки на нерест, значимого увеличения их уловов (за счёт влияния высокочисленных поколений) в конкретные годы и среднескользящего тренда уловов лососей (табл. 1). Учитывая, что рассматриваемые

группировки рыб сформированы производителями из многочисленных рек западного и северо-восточного побережий Камчатки и Чукотки, а также тот факт, что тихоокеанские лососи (за исключением горбуши), имеют сложную возрастную структуру, были проанализированы опубликованные материалы с целью выявления преобладающих в уловах возрастных классов рыб из различных нерестовых водоёмов в пределах Охотского и Берингова морей. За редким исключением у кеты в ходе нерестовых миграций преобладали рыбы в возрасте 3+ и 4+ [Макоедов и др., 2009], у нерки – 1.3+ и 2.3+ [Бугаев, 2011], кижуча – 1.1+ и 2.1+ [Зорбиди, 2010] и чавычи – 1.3+ и 1.4+ [Бугаев и др., 2007]. При этом у кеты и чавычи среди присутствующих на промысле возрастных классов, как правило, доминировали рыбы соответственно в возрасте 3+ и 1.3+, а особи возрастов 4+ и 1.4+ имели меньшую численность. У нерки и кижуча преобладали производители с двумя речными годами.

Установленные таким образом высокочисленные поколения тихоокеанских лососей (всего 97) также нанесены на кривые вылова (табл. 2, рис. 15). В данном случае обращает на себя внимание значительное увеличение числа урожайных поколений практически у всех видов лососей с начала 2000-х гг., что привело к существенному росту их уловов. Последнее стало возможным не только благодаря высокой численности производителей в этот период, но и благоприятным условиям их морского нагула [Шунтов, Темных, 2008]. Отметим, что отдельные поколения высокой численности могут проявлять себя в течение двух лет. Так, урожайные поколения кеты в возрасте 3+ доминируют в уловах во время нерестовых миграций, на следующий год рыбы того же года рождения обнаруживают себя в меньших количествах уже в возрасте 4+ (то же у чавычи в возрасте 1.3+ и 1.4+). У нерки и кижуча высокочисленные поколения проявляются в первый год нереста в возрасте 1.3+ и 1.1+ соответственно. На следующий год эти же поколения заходят в реки, но в отличие от кеты и чавычи, в большем количестве в возрасте 2.3+ у нерки и 2.1+ у кижуча. Характерный пример этого приведён для нерки западного побережья, когда урожайные поколения 2008, 2011 и 2014 гг. формировали повышенные уловы рыб соответственно в 2012–2013, 2015–2016 и 2018–2019 гг. (рис. 15 в).

Число поколений высокой численности, частота и периодичность их появления по отдельным запасам рыб приведены в табл. 3, данные которой показали наибольшее число урожайных генераций у восточно-охотоморского минтая, восточнокамчатской трески, карагинских наваги и желтопёрой камбалы, охотской

сельди, горбуши и горбуши северо-восточного побережья. Наименее плодovиты минтай северо-восточного Сахалина, западносахалинская треска, западнокамчатская навага, южный однопёрый терпуг, желтопёрая западносахалинская камбала, корфо-карагинская сельдь и чавыча западного побережья Камчатки. Максимальное число высокочисленных поколений рыб, следующих одно за другим ежегодно без перерывов,

наблюдалось у желтопёрый камбалы залива Терпения (до 12 поколений), восточноохотоморского минтая, западносахалинской и карагинской желтопёрых камбал (до 6), анадырско-наваринской и западнокамчатской трески (до 5). Наиболее часто (через год и более) урожайные поколения появлялись у горбуши северо-восточного побережья, анадырско-наваринского минтая, восточнокамчатской трески, карагинских наваги

Таблица 2. Возраст формирования повышенной биомассы (вылова для лососёвых рыб) и годы появления урожайных поколений основных промысловых рыб в дальневосточных морях, тихоокеанских водах Камчатки и северных и южных Курильских островов

Table 2. The age of the formation of increased biomass (catch for salmon fish) and the years of the appearance of productive generations of the main commercial fish in the Far Eastern seas, Pacific waters of Kamchatka and the northern and southern Kuril Islands

Морские рыбы (вид, группировка)	Возраст роста биомассы, годы	Годы появлений урожайных поколений	Источник информации
Минтай восточнoбeрингoмoрскoй (CША)	4+	1960, 1962, 1963, 1972 , 1976, 1977, 1978 , 1979, 1980, 1982 , 1984, 1989 , 1990, 1991, 1992 , 1995, 1996 , 2000 , 2008 , 2012, 2013	Серoбaбa, 1974; Фaдeев, 1990; Шунтoв и др., 1993; Cтeпaнeнкo, 2001a, б; Звeрькoвa, 2003; Cтeпaнeнкo и др., 2007; Ianelli et al., 2013, 2018; Cтeпaнeнкo, Гpицaй, 2016; Бeрингoвoмoрскaя..., 2017
Минтай aнaдыpcкo-нaвapинскoй	3+	1978 , 1982 , 1984, 1989 , 1990, 1992 , 1996 , 1999, 2000 , 2001, 2002, 2006, 2008 , 2012	Серoбaбa, 1974; Бopец и др., 2002; Фaдeев, Гpицaй, 2003; Дaтскoй, 2004; Гpицaй, 2006; Гpицaй, Шeйбaк, 2009; Cтeпaнeнкo, Гpицaй, 2016; Бeрингoвoмoрскaя..., 2017
Минтай зaпaднoбeрингoвoмoрскoй	4+	1969 , 1973 , 1974 , 1977, 1978 , 1979 , 1980, 1983 , 1984 , 1985, 2001, 2002, 2006, 2013	Бaлыкин, 1990, 2006; Бaлыкин, Кaрпeнкo, 2006; Бyслoв, 2008; Aнтoнoв, 2011; дaнныe КaмчaтНИPO
Минтай вoстoчнoкaмчaтскoй	5+	1973 , 1974 , 1978 , 1979 , 1980 , 1984 , 1986 , 1987 , 2000 , 2001 , 2003 , 2011, 2015	Бyслoв, 2008; Aнтoнoв, 2011; дaнныe КaмчaтНИPO
Минтай вoстoчнooхoтoмoрскoй	5+	1963, 1967 , 1968 , 1969, 1971, 1975, 1976, 1977 , 1978 , 1979, 1980, 1986, 1987, 1988 , 1989 , 1995, 1997, 2004 , 2005, 2009, 2011, 2013	Кaчинa, 1981; Фaдeев, 1990; Шунтoв и др., 1993; Oвcянникoв, 2009, 2011; Oвcянникoв и др., 2013; дaнныe ТИHPO, КaмчaтНИPO
Минтай ceвepo-вoстoчнoгo Сaхaлинa	5+	1975 , 1978 , 1982, 2000, 2003, 2009, 2012	Oхoтoмoрскoй..., 2017
Минтай Япoнскoгo мoрy (Пpимoрьe)	4+	1975 , 1976, 1979, 1980, 1981 , 1982, 1984, 1987, 1989, 1996, 1997 , 2006 , 2014	Вдoвин и др., 2017
Тpескa aнaдыpcкo-нaвapинскaя	4+	1962, 1966 , 1967, 1974 , 1975 , 1976, 1977, 1978, 1988, 1991 , 1994 , 2005, 2006, 2011 , 2013 , 2014	Вepшинин, 1987; Бaлыкин, 2006; Aнтoнoв, 2013; Кpoвнин и др., 2017; дaнныe ТИHPO
Тpескa кapaгинскaя	4+	1977 , 1978, 1979, 1986 , 1987, 1988 , 1989 , 1995, 1997 , 1999 , 2000 , 2008, 2014	Aнтoнoв, 2013; дaнныe КaмчaтНИPO
Тpескa вoстoчнoкaмчaтскaя	4+	1977 , 1978 , 1979 , 1980 , 1982 , 1983, 1984, 1986, 1990, 1991, 1993, 1997, 1998, 2007, 2008, 2011, 2013	Aнтoнoв, 2013; дaнныe КaмчaтНИPO
Тpескa зaпaднoкaмчaтскaя	4+	1968, 1977, 1979, 1981, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988 , 1992 , 2006, 2007, 2011 , 2016	Aнтoнoв, 2011, 2013; дaнныe КaмчaтНИPO
Тpескa южнoкypильскaя	4+	1977 , 1984 , 1992, 2000, 2004, 2007, 2010	Ким Сeн Тoк, 1996, 2013; дaнныe СaхНИPO
Тpескa зaпaднoсaхaлинскaя	4+	1983 , 1984 , 1993, 2007, 2013	Ким Сeн Тoк, 1996, 2013; дaнныe СaхНИPO
Нaвaгa кapaгинскaя	3+	1969 , 1971, 1974, 1977 , 1980 , 1984, 1998, 2004, 2008 , 2011 , 2013	Тoлcтyк, 1990; Бaлыкин, 2006; Нoвикoвa, 2007; Aнтoнoв, 2011; дaнныe КaмчaтНИPO
Нaвaгa зaпaднoкaмчaтскaя	4+	1988 , 1991 , 2004, 2009 , 2010 , 2014	Тoлcтyк, 1990; Нoвикoвa, 2007; Aнтoнoв, 2011; дaнныe КaмчaтНИPO
Нaвaгa зaливa Тeрпeния (вoст. Сaхaлин)	3+	1975 , 1978, 1985, 1994 , 1999, 2000, 2008	Сaфpoнoв, 1986; Нoвикoвa, 2013
Тepпyг ceвepный oднoпepый вoст. Кaмчaткa, ceв. Кypил	4+	1974, 1984, 1987, 1992 , 1995 , 1996 , 1998 , 2002 , 2006, 2010, 2014	Зoлoтoв и др., 2015; дaнныe КaмчaтНИPO

Морские рыбы (вид, группировка)	Возраст роста биомассы, годы	Годы появления урожайных поколений	Источник информации
Терпуг южный одноперый южн. Курил	3+	1974, 1986, 1995 , 1998, 2001 , 2008, 2010 , 2016	Золотов, Фатыхов, 2016
Камбала двухлинейная восточнокамчатская	5+(6+-8+)	1950 , 1951, 1952, 1953, 1972, 1973, 1976, 1977 , 1978, 1981, 1982, 1983, 1988 , 1989, 1990, 1996, 2004, 2007, 2008, 2009	Антонов, 2011; данные КамчатНИРО
Камбала желтопёрая карагинская	5+(6+-7+)	1952, 1953, 1954 , 1960, 1961, 1962, 1967, 1975, 1976, 1977, 1978, 1979, 1980, 1984, 1986, 1987 , 1988, 1992, 1993, 1997, 1998 , 2004, 2009, 2010, 2013	Антонов, 2011; данные КамчатНИРО
Камбала желтопёрая западнокамчатская	5+(6+-8+)	1946, 1947, 1948, 1949 , 1969, 1975, 1976 , 1977, 1978 , 1982, 1984, 1986, 1990, 1993, 1994, 1995, 1998, 1999 , 2004, 2007, 2010, 2012	Антонов, 2011; Дьяков Ю.П., 2011; данные КамчатНИРО
Камбала желтопёрая залива Терпения (вост. Сахалин)	6+(6+-8+)	1946, 1947, 1950, 1951, 1952, 1953, 1954 , 1955, 1956, 1957 , 1958, 1959, 1960 , 1961, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990, 1991 , 2002, 2003, 2004	Тарасюк, 1997; Золотов и др., 2014; данные СахНИРО
Камбала желтопёрая западносахалинская	5+(6+-8+)	1945, 1946, 1947 , 1954, 1956, 1957, 1958 , 1959, 1960, 1961 , 1979, 1981, 1982, 1983 , 1984 , 1989, 1990, 2010	Тарасюк, 1997; Золотов и др., 2014; данные СахНИРО
Сельдь восточноберингово-морская (РФ, США)	5+	1952, 1957, 1962, 1967, 1974 , 1991, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007	Науменко, 2001; Лобода, Жигалин, 2017
Сельдь корфо-карагинская	5+	1923, 1944, 1951, 1952, 1956 , 1971, 1993 , 2006, 2009, 2010	Науменко, 2001, 2010; Антонов, 2011; данные КамчатНИРО
Сельдь гижигинско-камчатская	6+	1924, 1932 , 1943, 1951, 1956 , 1959, 1961, 1971, 1993, 1994, 2004, 2005	Науменко, 2001; Смирнов, 2006, 2014
Сельдь охотская	6+	1925, 1931, 1933, 1952, 1957, 1958, 1962 , 1967 , 1968, 1974, 1988, 1989 , 1997, 2004, 2006, 2007, 2009, 2014, 2015	Науменко, 2001; Лобода, Мельников, 2005; Лобода, 2007; Фархутдинов, 2005; данные МагаданНИРО
Горбуша северо-восточного побережья	1+	1988, 1990, 1992, 1994, 1996, 1998, 2002, 2006, 2008, 2010 , 2014, 2015, 2016, 2017, 2018	Шунтов, Темных, 2011; собственные данные
Горбуша западного побережья	1+	1991, 1997 , 1999, 2003, 2007, 2009, 2011 , 2015, 2017 , 2019	Радченко, 2009; Шунтов, 2016; собственные данные
Кета северо-восточного побережья	3+ , 4+	1976, 1980, 1983, 1987, 1997, 2002, 2004, 2006, 2009, 2011, 2013, 2016	Макоедов и др., 2009; Шунтов, Темных, 2011; собственные данные
Кета западного побережья	3+ , 4+	1982, 1997, 1999, 2003, 2007, 2009, 2011, 2015	Макоедов и др., 2009; собственные данные
Нерка северо-восточного побережья	1.3+, 2.3+	1991, 1995, 2002, 2004, 2006, 2008, 2011, 2014	Бугаев, 2011; собственные данные
Нерка западного побережья	1.3+, 2.3+	1986, 1992, 1998, 2003 , 2006, 2008, 2011, 2014	Бугаев, 2011; собственные данные
Кижуч северо-восточного побережья	1.1+, 2.1+	1972, 1974, 1976 , 1979, 1981, 1984 , 1989, 2005, 2011, 2012, 2016	Зорбиди, 2010; собственные данные
Кижуч западного побережья	1.1+, 2.1+	1982, 1989, 2005, 2008, 2010, 2012, 2015, 2017	Зорбиди, 2010; собственные данные
Чавыча северо-восточного побережья	1.3+ , 1.4+	1968, 1971, 1973 , 1979, 1982, 1989, 1995, 2002, 2004, 2006, 2011	Бугаев и др., 2007; собственные данные
Чавыча западного побережья	1.3+ , 1.4+	1971, 1978, 1982, 1987, 1992, 2004	Бугаев и др., 2007; собственные данные

Примечание: Жирным шрифтом выделены возрастные группы, составляющие основу уловов лососей, а также суперурожайные поколения морских рыб.

и желтопёрой камбалы, северного одноперого терпуга, охотской сельди.

В целом за весь период наблюдений именно генерации высокой численности, составившие около 20%

всех проанализированных поколений, в большинстве своём и являлись основой для формирования высокой биомассы морских рыб в дальневосточных морях и прилегающих к ним акваториях. Безусловно, далеко

Table 3. The number of generations of high numbers of the main marine fish, their frequency and frequency of occurrence in the Far Eastern seas. Pacific waters of Kamchatka and the northern and southern Kuril Islands

Примечание. Рыбы даны (по видам, у тихоокеанских лососей в целом) в порядке увеличения частоты появлений поколений повышенной численности (урожайных, включая суперурожайные) за период наблюдений. Жирным шрифтом выделены лучшие показатели воспроизводительной способности (появление большего числа поколений высокой численности через меньшие промежутки времени) отдельных запасов морских рыб.

не всегда рост обилия рыб есть следствие влияния исключительно высокочисленных поколений (присутствует вклад, иногда значительный, рыб смежных генераций), однако воздействие урожайных поколений на увеличение биомассы и уловов рыб очевидно. Отметим при этом, что в отдельные годы неблагоприятные условия среды обитания гидробионтов вместе с деятельностью человека могут приводить к нивелированию урожайных генераций, и ожидаемый рост обилия рыб не наблюдается.

Таким образом, в основном можно согласиться с тем, что наибольшие величины обилия морских рыб образованы особями поколений выше среднего. Принимая во внимание определяющее воздействие таких поколений на обилие рыб и их уловы, были выделены максимумы биомассы (вылова), приуроченные к конкретным годам (табл. 4, рис. 9–15). В большинстве случаев такие пики хорошо заметны, лишь у отдельных запасов рыб (минтай западноберинговоморский, восточнокамчатский и северо-восточного

Таблица 4. Максимумы биомассы (вылова) рыб и периодичность их формирования в дальневосточных морях, тихоокеанских водах Камчатки и северных и южных Курильских островов

Table 4. Maximum biomass (catch) of fish and the frequency of their formation in the Far Eastern seas, Pacific waters of Kamchatka and the northern and southern Kuril Islands

Вид, группировка	Максимумы биомассы (вылова) рыб, годы	Периодичность средняя (пределы), лет
Минтай Японского моря (Приморье)	1980, 1991, 2000, 2010, 2019	9,8 (9–11)
Минтай анадырско-наваринский	1986, 1996, 2005, 2017	10,3 (9–12)
Минтай восточнокамчатский	1978, 1991, 2000, 2009	10,3 (9–13)
Минтай восточноберинговоморский (США)	1971, 1985, 1993, 2001, 2014	10,8 (8–14)
Минтай западноберинговоморский	1979, 1988, 1997, 2007, 2020	11,0 (9–13)
Минтай северо-восточного Сахалина	1976, 1986, 1996, 2008, 2020	11,0 (10–12)
Минтай восточноохотоморский	1973, 1985, 1997, 2010, 2018	11,2 (8–13)
Треска западносахалинская	1989, 1999, 2013, 2020	10,3 (7–14)
Треска южнокурильская	1988, 1998, 2011, 2020	10,6 (9–13)
Треска восточнокамчатская	1986, 1996, 2009	11,5 (10–13)
Треска западнокамчатская	1972, 1983, 1993, 2009, 2021	12,3 (10–16)
Треска анадырско-наваринская	1969, 1980, 1996, 2008, 2018	12,3 (10–16)
Треска карагинская	1981, 1992, 2005, 2019	12,7 (11–14)
Навага залива Терпения (вост. Сахалин)	1979, 1987, 1997, 2010, 2020	10,3 (8–13)
Навага западнокамчатская	1997, 2008, 2019	11,0 (11)
Навага карагинская	1981, 1989, 2002, 2015	11,3 (8–13)
Терпуг южный одноперый южных Курил	1977, 1988, 1997, 2003, 2013, 2020	8,6 (6–11)
Терпуг северный одноперый вост. Камчатки и сев. Курил	1971, 1983, 1993, 2002, 2008, 2020	9,8 (6–12)
Камбала желтопёрая западнокамчатская	1952, 1963, 1974, 1983, 1991, 2004, 2019	11,2 (8–15)
Камбала двухлинейная восточнокамчатская	1957, 1966, 1978, 1988, 1998, 2014	11,4 (9–16)
Камбала желтопёрая залива Терпения (вост. Сахалин)	1955, 1965, 1975, 1985, 1995, 2012	11,4 (10–17)
Камбала желтопёрая карагинская	1955, 1968, 1984, 1998, 2005, 2014	11,8 (7–16)
Камбала желтопёрая западносахалинская	1951, 1964, 1975, 1988, 1998, 2012	12,2 (10–14)
Сельдь восточноберинговоморская (США)	1988, 1993, 2005, 2008, 2012, 2018	6,0 (3–12)
Сельдь охотская	1948, 1958, 1964, 1968, 1973, 1980, 1985, 1997, 2005, 2010, 2016	6,8 (4–12)
Сельдь гижигинско-камчатская	1948, 1957, 1962, 1967, 1978, 1983, 1990, 2001, 2006, 2012, 2017	6,9 (5–11)
Сельдь корфо-карагинская	1950, 1957, 1961, 1967, 1976, 1984, 1994, 1999, 2008, 2015	7,2 (4–10)
Сельдь восточноберинговоморская (РФ)	1965, 1973, 1982, 1992, 2001, 2010, 2015	8,3 (5–10)
Горбуша северо-восточного побережья	1971, 1973, 1975, 1977, 1979, 1981, 1989, 1991, 1993, 1995, 1997, 1999, 2003, 2007, 2009, 2011, 2015, 2017, 2019	2,7 (2–8)
Горбуша западного побережья	1979, 1983, 1996, 1998, 2000, 2002, 2004, 2008, 2010, 2012, 2016, 2018, 2020	3,4 (2–13)

Вид, группировка	Максимумы биомассы (вылова) рыб, годы	Периодичность средняя (пределы), лет
Кижуч северо-восточного побережья	1974, 1977, 1979, 1982, 1984, 1987, 1992, 1997, 2002, 2008, 2015, 2018, 2020	4,1 (2–7)
Нерка северо-восточного побережья	1979, 1984, 1992, 1996, 1999, 2007, 2009, 2013, 2016, 2019	4,4 (2–8)
Нерка западного побережья	1990, 1996, 2002, 2007, 2013, 2015, 2019	4,8 (2–6)
Кижуч западного побережья	1985, 1992, 1997, 2000, 2008, 2010, 2015, 2018, 2020	5,0 (2–11)
Чавыча северо-восточного побережья	1972, 1975, 1977, 1983, 1986, 1993, 1999, 2008, 2015	5,3 (2–9)
Чавыча западного побережья	1972, 1975, 1979, 1982, 1986, 1992, 1996, 2008, 2016	5,4 (3–11)
Кета северо-восточного побережья	1979, 1983, 1986, 1990, 2000, 2009, 2014, 2019	5,7 (3–10)
Кета западного побережья	1985, 2000, 2002, 2006, 2012, 2015, 2019	6,8 (3–15)

Примечание. Рыбы даны (по видам, у тихоокеанских лососей в целом) в порядке увеличения периодичности формирования обилия. В колонке «Максимумы биомассы (вылова) рыб, годы» подчеркнуты годы, в которые максимумы биомассы не наблюдались, однако такие пики были бы наиболее вероятны (объяснения в тексте). У горбуши приведены годы, когда её уловы были выше линии тренда.

Сахалина, желтопёрая камбала западных Камчатки и Сахалина, залива Терпения, сельдь восточноберинговоморская российских вод) в некоторые временные периоды максимумы биомасс не наблюдались. Однако с учётом определённой периодичности высоких биомасс для каждого из этих видов (популяций) подобные максимумы были бы с той или иной долей вероятности зафиксированы именно в конкретные годы (подчеркнуты в табл. 4). Основной причиной отсутствия высоких значений биомассы отмеченных выше группировок минтая в указанные годы следует признать воздействие чрезмерного и нерегулируемого промысла в 1980–1990-е гг. [Антонов, 2011]. То же можно сказать и в отношении желтопёрой камбалы, когда непомерный промысел среднетоннажных российских и японских судов у берегов западной Камчатки и Сахалина соответственно в 1950-х – первой половине 1970-х гг. и начале 1980-х гг. привёл к падению запасов вида [Фадеев, 1971; Борец, 1997; Тарасюк, 1997; Дьяков Ю.П., 2011]. Низкий уровень запасов региональных группировок вида в отмеченные периоды, по-видимому, и явился следствием того, что ожидаемые пики биомасс западнокамчатских, западно- и восточносахалинских камбал соответственно в 1963, 1975 и 1975 (1985) гг. не были сформированы (табл. 4). Снижение промыслового воздействия привело к постепенному восстановлению численности этих камбал (рис. 13 б-г) и появлению максимумов биомасс в последующие после провалов годы.

Для уточнения степени влияния промысла на обилие морских рыб (и возможного его исключения из перечня факторов, определяющих естественную динамику численности рыб) были рассчитаны доли их уловов от биомасс за весь период исследований. Аналогичная процедура расчётов проведена и для 2020 г., когда определили процентное соотношение

общих допустимых уловов (ОДУ) или рекомендованного вылова (РВ) рыб от прогнозных оценок их биомасс, рассчитанных с использованием математических моделей в рамках предосторожного подхода [Бабаян, 2000].

Из данных табл. 5 можно сделать следующие выводы:

Во-первых, наибольший вылов от биомассы у анализируемых видов и группировок наблюдался в 1970–1990-е гг. (20 запасов из 28), в 2000-е гг. на большинство рыб промысловый пресс снизился.

Во-вторых, только два запаса (восточнокамчатский минтай и южнокурильская треска) максимально эксплуатировали на пике их биомасс, у прочих рыб высокая промысловая нагрузка отмечалась до или после максимумов обилия.

В третьих, если сравнивать долю прогнозируемого вылова от обилия в 2020 г. с аналогичными показателями 2010–2019 гг., когда расчётные показатели биомасс рыб были методически приближены к оптимальным с точки зрения минимизации ущерба от проведения промысла, можно заметить, что она практически по всем запасам имеет тенденцию к увеличению. Только у шести группировок (западноберинговоморский минтай, минтай северо-восточного Сахалина, анадырско-наваринская треска, навага залива Терпения, восточнокамчатская двухлинейная и западнокамчатская желтопёрая камбалы) доля прогнозируемого вылова от биомассы рекомендована к снижению. При этом для трески северо-западной части Берингова моря такая рекомендация обусловлена резким ростом биомассы рыб вследствие появления нескольких урожайных поколений [Кровнин и др., 2017] и повышением миграционной активности рыб из восточной части моря в западную. Ежегодный ОДУ данной группировки был увеличен с 29,5 тыс. т

Таблица 5. Доля вылова морских рыб от их биомассы (%) в дальневосточных морях и прилегающих акваториях в 1940–2020 гг.

Table 5. The share of marine fish catch from their biomass (%) in the Far Eastern seas and adjacent waters in 1940–2020.

Вид, группировка	1940– 1949	1950– 1959	1960– 1969	1970– 1979	1980– 1989	1990– 1999	2000– 2009	2010– 2019	Доля вылова от биомассы (средняя, пределы), %	ОДУ/РВ в 2020 г. от био- массы, %
Минтай северо-восточного Сахалина	–	–	–	7,7	10,2	10,0	3,1	22,5	11,1 (1,0–35,0)	22,4
Минтай анадырско-наваринский	–	–	–	17,3	42,9	40,7	28,6	11,2	30,5 (9,3–77,4)	13,7
Минтай восточнокамчатский	–	–	–	44,5	27,5	18,6	9,5	11,4	19,8 (4,4–53,2)	13,4
Минтай восточноохотоморский	–	–	8,4	16,6	12,5	18,6	10,4	9,5	12,9 (0,9–25,2)	10,8
Минтай восточноберингоморский (США)	–	–	7,0	11,7	6,4	7,9	10,0	7,2	8,5 (3,5–23,4)	9,4
Минтай Японского моря (Приморье)	–	–	–	25,0	18,4	7,9	3,2	2,9	9,6 (0,1–41,3)	9,3
Минтай западноберингоморский	–	–	–	11,7	12,9	26,6	22,9	13,7	17,6 (2,1–77,1)	3,8
Треска карагинская	–	–	–	2,1	7,9	11,0	11,7	25,5	11,8 (0–34,0)	34,9
Треска западнокамчатская	–	4,8	8,5	6,7	11,4	5,9	9,5	11,3	8,7 (2,2–25,0)	31,9
Треска западносахалинская	–	–	–	–	–	–	4,1	4,1	4,4 (1,7–9,8)	23,2
Треска восточнокамчатская	–	–	–	6,5	17,1	23,6	14,7	18,5	17,6 (3,7–35,7)	21,3
Треска южнокурильская	–	–	–	–	16,3	10,4	4,7	10,5	10,3 (0,1–34,1)	20,4
Треска анадырско-наваринская	–	–	11,5	37,1	16,4	12,2	10,4	6,7	16,4 (0,1–118,8)	3,7
Навага карагинская	–	–	–	9,1	9,9	12,8	10,7	5,6	9,6 (1,1–33,2)	26,5
Навага западнокамчатская	–	32,5	39,6	28,9	6,6	13,2	17,3	13,2	20,4 (0,1–71,4)	25,2
Навага залива Терпения (вост. Сахалин)	–	–	–	–	20,2	21,1	29,7	29,6	26,4 (8,3–41,7)	22,2
Терпуг северный однопёрый вост. Камчатки и сев. Курил	–	–	16,3	18,3	3,2	3,4	9,6	15,9	10,3 (0,3–47,0)	17,3
Терпуг южный однопёрый южных Курил	–	–	–	4,6	17,6	6,5	5,9	4,7	8,4 (0,3–35,1)	15,8
Камбала желтопёрая карагинская	–	17,6	12,1	15,7	14,2	11,1	18,5	16,3	14,9 (0,7–42,0)	20,3
Камбала желтопёрая западнокамчатская	–	7,3	16,6	13,1	6,0	3,6	17,5	22,3	12,3 (1,2–34,6)	17,8
Камбала желтопёрая залива Терпения (вост. Сахалин)	–	12,8	13,5	17,0	1,1	5,9	11,6	5,9	9,7 (0–31,3)	11,5
Камбала желтопёрая западносахалинская	–	6,5	4,5	5,1	4,2	4,2	7,2	4,3	5,2 (0,9–14,1)	17,3
Камбала двухлинейная восточнокамчатская	–	14,4	19,3	12,5	12,5	11,3	12,7	14,3	13,8 (4,3–26,4)	10,7
Сельдь охотская	2,6	8,8	20,2	25,9	14,5	24,2	23,0	17,4	18,3 (2,4–54,1)	23,4
Сельдь гижигинско-камчатская	5,2	8,9	11,4	18,9	1,9	3,3	6,4	17,4	9,5 (0,2–59,6)	20,5
Сельдь корфо-карагинская	1,0	2,5	24,3	2,0	8,3	6,8	5,2	11,1	7,6 (0–54,3)	17,8
Сельдь восточноберингоморская (РФ)	–	5,1	8,3	13,1	7,3	188,0	122,6	8,1	48,6 (1,3–789,4)	12,1
Сельдь восточноберингоморская (США)	–	–	–	–	–	–	12,7	9,5	11,5 (7,4–16,0)	–

Примечание. Жирным шрифтом выделены наибольшая доля (%) вылова рыб относительно их биомассы, а также популяции рыб, доля вылова которых ниже в прогнозе на 2020 г. относительно периода 2010–2019 гг. Серым цветом выделены периоды наибольшей биомассы видов и популяций рыб (см. рис. 9–14).

в 2016 г. до 120,0 тыс. т в 2020 г., а дальнейший рост уловов трески, несмотря на имеющиеся возможности, оказался нецелесообразен по причине неготовности флота к освоению большего объёма ресурса.

В целом на современном этапе основные виды рыб в северо-западной части Тихого океана осваиваются в щадящем режиме, их вылов с 2009 г. поступательно растёт [Антонов, Датский, 2019], не оказывая значительного воздействия на биомассу (рис. 9–15). Лишь в редких случаях в условиях значительного перелова можно предположить, что рыболовство приводит к изменению обилия рыб и её периодичности. Именно такая ситуация наблюдалась в 1990-е гг. в отношении западноберинговоморской и восточнокамчатской группировок минтая, восточноберинговоморской сельди в водах России, когда прогнозируемые пики их биомасс соответственно в 1997, 2000 и 1992 гг. не были сформированы по причине сравнительно высокой доли их изъятия относительно биомассы рыб. Здесь же можно привести и указанные выше примеры с западнокамчатской и восточносахалинской желтопёрыми камбалами, когда после пика их биомасс уровень промыслового изъятия, вместо ожидаемого снижения, существенно возрастал (табл. 4, 5).

Сообразно выделенным максимумам биомассы и вылова для конкретных запасов рыб, рассчитана

периодичность формирования обилия, которая для каждого вида или группировки изменялась от минимальных значений у лососей до наибольших величин у трески и камбал (табл. 4). У минтая периоды появления наибольшей биомассы находились в пределах 9,9–11,2 лет; трески – 10,3–12,7; наваги – 10,3–11,3; терпугов – 8,6–9,8; желтопёрой камбалы – 11,2–12,2; сельди – 6,0–8,3 лет. У лососёвых, за исключением горбуши, цикличность появления повышенных уловов была наименьшей у нерки (4,4–4,8 лет) и кижуча (4,1–5,0), далее следовала чавыча (5,3–5,4), а наибольший период между высокими уловами наблюдался у кеты – 5,7–6,8.

Периодичность в формировании повышенной биомассы или вылова у региональных группировок рыб различалась (табл. 4, 6). У минтая наибольшие интервалы между максимумами обилия наблюдались у рыб Охотского моря и южной части Берингова моря, наименьшие – у особей северо-западной части Берингова моря, тихоокеанских вод Камчатки и акватории Японского моря (Приморье). У трески длительные по времени пики биомасс, помимо рыб с западной Камчатки, выявлены у группировок, обитающих в западной части Берингова моря и тихоокеанских водах Камчатки. Наименьшая цикличность присуща рыбам южных Курил и западного Сахалина. У наваги, желтопёрой камбалы и сельди ситуация обратная:

Таблица 6. Группировки морских рыб с наибольшей и наименьшей периодичностью формирования повышенной биомассы (вылова)

Table 6. Groupings of marine fish with the highest and lowest frequency of formation of increased biomass (catch)

Вид	Группировки с наибольшей периодичностью	Группировки с наименьшей периодичностью
Минтай	Охотское море (восточноохотоморская, северо-восточного Сахалина), юго-восточная и юго-западная части Берингова моря (восточноберинговоморская, западноберинговоморская)	Северо-западная часть Берингова моря (анадырско-наваринская), тихоокеанские воды Камчатки (восточнокамчатская), Японское море (Приморье)
Треска	Охотское море (западнокамчатская), западная часть Берингова моря (анадырско-наваринская, карагинская), тихоокеанские воды Камчатки (восточнокамчатская)	Тихоокеанские воды южных Курил (южно-курильская), Японское море (западносахалинская)
Навага	Охотское море (западнокамчатская), юго-западная часть Берингова моря (карагинская)	Охотское море (восточный Сахалин)
Желтоперая камбала	Юго-западная часть Берингова моря (карагинская), Японское море (западносахалинская)	Охотское море (западнокамчатская, восточный Сахалин)
Сельдь	Западная часть Берингова моря (восточноберинговоморская, корфо-карагинская)	Юго-восточная часть Берингова моря (восточноберинговоморская), Охотское море (охотская, гижигинско-камчатская)
Тихоокеанские лососи	Кета и чавыча обоих побережий	Горбуша обоих побережий, кижуч и нерка северо-восточного побережья

за исключением западнокамчатской наваги большие промежутки в формировании биомасс рыб выявлены в российских водах Берингова моря, а меньшие – в акватории Охотского моря.

Вышесказанное вероятно может быть объяснено особенностями формирования абиотического фона дальневосточных морей и прилегающих тихоокеанских вод, имеющего специфические региональные особенности и значимые различия. Воздействие природных факторов в северных и южных акваториях северо-западной части Тихого океана зачастую находится в противофазе [Шунтов, Темных, 2008; 2011; Шунтов, 2001; 2016]. При этом существенные различия в условиях среды наблюдаются и в пределах одного водоёма и не только в направлении от севера к югу: западные части Охотского и Берингова морей суровее восточных [Шунтов, Иванов, 2019].

Если рассматривать периодичность формирования обилия по видам в целом, то наибольшая цикличность наблюдалась у типично донно-придон-

ных желтопёрой камбалы и трески: соответственно 11,7 и 11,6 лет. Меньшую цикличность имели навага (10,9 лет), преимущественно донный вид, и минтай (10,6 лет), в полной мере осваивающий как пелагиаль, так и акваторию у дна.

Далее в порядке убывания находились обитающие во взрослом состоянии у дна северный и южный однопёрые терпуги (9,8 и 8,6 лет соответственно), пелагические сельди (7,1) и тихоокеанские лососи (4,8). Сходные результаты в периодических колебаниях численности отдельных рыб в бассейнах Каспийского и Аральского морей, пелагиали Охотского моря и отдельных реках Дальнего Востока были отмечены и ранее [Кулик, 2007; 2009; Никольский, 2012].

Говоря о колебаниях численности, следует понимать, что у всех проанализированных рыб биология и экология различны (табл. 7, 8). В первую очередь, надо отметить, что сроки нереста у рассматриваемых видов разные: у минтая, трески, наваги, сельди нерест зимне-весенний и протекает в неблагоприятный пе-

Таблица 7. Сроки нереста и особенности распределения нерестующих особей, икры и личинок основных морских рыб в дальневосточных морях, тихоокеанских водах Камчатки и северных и южных Курильских островов

Table 7. Spawning periods and distribution patterns of spawning individuals, eggs and larvae of the main marine fish in the Far Eastern seas, Pacific waters of Kamchatka and the northern and southern Kuril Islands

Вид, группировка	Сроки нереста (пик), месяцы	Распределение нерестующих рыб	Распределение икры (личинок)	Источник
Минтай восточноберингово-морской (США)	2–6 (4–5)	над 1500–3000 м (в слое 300–500 м), 50–180 м (у дна)	Поверхностный слой 0–60 м (0–400 м)	Сербобаба, 1968; 1974; Okada, 1986; Булатов, 1987; 2004; 2017; Hinckley, 1987; Stepanenko, 1989; Шунтов и др., 1993
Минтай анадырско-наваринский	4–9 (5–6)	240–380 м (у дна), 40–90 м (у дна)	Поверхностный слой 0–60 м (0–500 м)	Качина, Балыкин, 1981; Фадеев, 1981; 1988; Булатов, 1986; 1987; 2004; Шунтов и др., 1993; Балыкин, Варкентин, 2002; Датский, 2004
Минтай западноберинговоморской	3–6 (5)	150–500 м (у дна)	Поверхностный слой 0–60 м (0–200 м)	Качина, Балыкин, 1981; Булатов, 1986; Балыкин, 1993; Шунтов и др., 1993
Минтай восточнокамчатский	3–6 (4–5)	над 800–1500 м (в слое 200–600 м), 50–150 м (у дна)	Поверхностный слой 0–60 м (0–600 м)	Антонов, Золотов, 1987; Антонов, 1991; Буслов, 2001; Буслов, Тепнин, 2002; Буслов и др., 2004; Булатов, 2017
Минтай восточноохотоморской	1–6 (4)	50–200 м (у дна)	Поверхностный слой 0–60 м	Горбунова, 1954; Зверькова, 1969; 1987; Пушкинов, 1980; 1982; Фадеев, 1981; 1987; Вышегородцев, 1987; Золотов, 1991; Шунтов и др., 1993; Овсянников, 2011; Варкентин, 2015
Минтай северо-восточного Сахалина	3–6 (4–5)	50–150 м (у дна)	Поверхностный слой 0–60 м	Пушкинов, 1978; 1982; Зверькова, Пушкинов, 1980; Зверькова, 1981; Фадеев, Смирнов, 1987; Шунтов и др., 1993
Минтай Японского моря (Приморье)	1–5 (4)	50–200 м (у дна)	Поверхностный слой 0–60 м	Горбунова, 1954; Зверькова, 1971; 1977; Нуждин, 1987; 2008; Шунтов и др., 1993; Фадеев, 2009
Треска анадырско-наваринская	3–5 (4)	130–370 м (у дна)	75–250 м, у дна	Моисеев, 1953; Мухачева, Звягина, 1960; Антонов, 2013
Треска карагинская	2–4 (3)	120–270 м (у дна)	120–250 м, у дна	Моисеев, 1953; Vinnikov, 1996; Антонов, 2013; Савин, 2013

Вид, группировка	Сроки нереста (пик), месяцы	Распределение нерестующих рыб	Распределение икры (личинок)	Источник
Треска восточнокамчатская	1–4 (3)	120–290 м (у дна)	100–250 м, у дна	Моисеев, 1953; Вершинин, 1984; Токранов, Винников, 1991; Винников, 2008; Полтев и др., 2012; Антонов, 2013; Савин, 2013
Треска западнокамчатская	2–4 (3)	130–370 м (у дна)	100–300 м, у дна	Моисеев, 1953; Токранов, Винников, 1991; Винников, 2008; Антонов, 2013; Савин, 2013
Треска южнокурильская	1–3 (2)	140–270 м (у дна)	100–250 м, у дна	Ким Сен Ток, 2013
Треска западносахалинская	1–3 (2)	80–500 м (у дна)	80–400 м, у дна	Моисеев, 1953; Ким Сен Ток, 2013
Навага карагинская	12–3 (1)	2–10 м (у дна)	2–10 м, у дна (2–20 м, у дна)	Балыкин, 2006; Новикова, 2007; Трофимов, 2010
Навага западнокамчатская	1–3 (2)	100–150 м (у дна)	100–150 м, у дна (80–200 м, у дна)	Новикова, 2007; Антонов, 2011
Навага залива Терпения (вост. Сахалин)	12–2 (1)	2–15 м (у дна)	2–15 м, у дна (2–20 м, у дна)	Сафронов, 1986
Терпуг северный одноперый вост. Камчатки, сев. Курил	6–10 (8)	15–25 м (у дна, у берега), 70–100 м (у дна)	На дне (в эпипелагиали)	Горбунова, 1962; Золотов, 1975; 1981; Золотов, Орлов, 2009
Терпуг южный одноперый южных Курил	7–10 (8)	5–35 м (у дна, у берега)	На дне (в эпипелагиали)	Горбунова, 1959; Мельников, 1996; Дудник, Золотов, 2000; Ким Сен Ток, Бирюков, 2009
Камбала двухлинейная восточнокамчатская	3–5 (4)	100–250 м (у дна)	100–200, у дна (50–200, у дна)	Моисеев, 1953; Перцева-Остроумова, 1962; Фадеев, 1986; Антонов, 2011
Камбала желтопёрая карагинская	5–9 (7)	20–80 м (у дна)	Поверхностный слой 0–25 м (0–25, у дна)	Моисеев, 1953; Перцева-Остроумова, 1961; 1962; Фадеев, 1986; 2005; Полутов, 1991; Золотов, 2011
Камбала желтопёрая западнокамчатская	5–9 (7)	10–60 м (у дна)	Поверхностный слой 0–25 м (0–25, у дна)	Моисеев, 1953; Перцева-Остроумова, 1962; Четвергов, 2002
Камбала желтопёрая залива Терпения (вост. Сахалин)	6–9 (7)	10–60 м (у дна)	Поверхностный слой 0–25 м (0–25, у дна)	Перцева-Остроумова, 1962
Камбала желтопёрая западносахалинская	6–9 (7)	10–60 м (у дна)	Поверхностный слой 0–25 м (0–25, у дна)	Перцева-Остроумова, 1962
Сельдь восточноберингово-морская (РФ)	4–6 (5)	0–10 (у дна)	0–10, у дна (поверхностный слой 0–30 м на глубине 20–200 м)	Науменко, 2001
Сельдь корфо-карагинская	5–6 (6)	0–2 (у дна)	0–2, у дна (поверхностный слой 0–30 м на глубине 20–200 м)	Качина, 1981; Науменко, 2001
Сельдь гижигинско-камчатская	5–6 (6)	0–11 (у дна)	0–11, у дна (поверхностный слой 0–30 м на глубине 20–200 м)	Науменко, 2001; Смирнов, 2014
Сельдь охотская	4–6 (5–6)	0–15 (у дна)	0–15, у дна (поверхностный слой 0–30 м на глубине 20–200 м)	Науменко, 2001

риод времени (тяжёлая ледовая обстановка, относительно низкие температурные показатели, сложные гидрометеословия), у терпугов и желтопёрой камбалы — преимущественно летне-осенний, когда условия среды более благоприятные. Во-вторых, нерестилища у терпугов, карагинской и восточносахалинской наваги, сельди находятся в прибрежных водах, зачастую в приливно-отливной зоне, где фоновые усло-

вия довольно лабильны, у прочих видов, за исключением лососей, места нереста располагаются на значительных глубинах, как правило, у дна с более стабильной абитотикой. Тихоокеанские лососи в данном случае имеют наиболее экстремальные условия для нереста, когда, помимо перехода из солёной водной среды в пресную, они вынуждены преодолевать значительные расстояния и препятствия в пределах не-

рестовых рек. В третьих, общее выживание рыб и их естественная смертность во многом обусловлены особенностями распределения икры и личинок и средой, в которой они развиваются. И здесь лососи также находятся в невыгодных условиях: личинки вылупляются зимой-весной, и в период ската численность молоди в значительной степени регулируется температурой воды и ледовитостью, влияющих на развитие кормовой базы, в результате в холодные годы могут появиться высокоурожайные поколения и наоборот [Шунтов, Темных, 2011]. У прочих видов условия развития икры и личинок более стабильны, не считая сельди, навагу (без западнокамчатской группировки) и желтопёрую камбалу, у которых численность будущих поколений закладывается в прибрежье, где гидрологический и температурный режимы менее устойчивы, нежели на больших глубинах.

Таким образом, особенности биологии и экологии рыб формируют специфические для каждого вида или популяции реакции на воздействие внешних факторов среды, оказывающих к тому же влияние в пределах ограниченных морских акваторий. Здесь необходимо учитывать и различные природные стратегии размножения живых организмов, при определённых обстоятельствах обеспечивающие оптимальную численность для конкретных видов. Среди разнообразных экологических стратегий,

свойственных тем или иным видам и направленным в конечном итоге на повышение вероятности выживания, выделяются *r*-стратегия, определяемая отбором, направленным на повышение скорости роста воспроизводства, и *K*-стратегия, связанная с отбором на повышение выживаемости [Mac-Arthur, Wilson, 1967]. В нашем случае к представителям последней можно отнести камбал, имеющих более стабильное развитие в силу большей продолжительности жизни и относительно высокой адаптации к воздействию климата, к первым – всех остальных. Для камбал характерно появление двух и более (до 12, табл. 3) смежных поколений высокой численности, которые разделены значительными временными периодами. У прочих запасов рыб, как правило, одно (реже два) урожайное поколение появляется через меньшее число лет (минимально у минтая, терпугов, наваги и лососей). Отметим, что у сельди, как и у камбал, выявлены сходные значительные временные периоды между появлением высокочисленных поколений, с той лишь разницей, что у сельди единовременно появлялось в основном одно поколение. Можно предположить, что влияние факторов среды на обилие камбал менее чувствительно по причине компенсации численности рыбами смежных поколений: сглаженные максимумы биомассы формируются с большей амплитудой.

Таблица 8. Сроки нереста производителей, выклева личинок и ската молоди тихоокеанских лососей западного и северо-восточного побережья Камчатки и Чукотки

Table 8. Terms of spawning of producers, hatching of larvae and stingrays of juvenile Pacific salmon on the western and northeastern coast of Kamchatka and Chukotka

Вид, расположение	Сроки нереста (пик), месяцы	Сроки выклева личинок, месяцы	Скат молоди (преобладающий возраст, годы), месяцы	Источник информации
Горбуша северо-восточного побережья	7–11 (8)	9–2	5–8 (0+)	Шунтов, Темных, 2008
Горбуша западного побережья	7–11 (8)	9–2	4–7 (0+)	Шунтов, Темных, 2008
Кета северо-восточного побережья	7–11 (8)	1–3	5–8 (0+)	Шунтов, Темных, 2008; Макоедов и др., 2009
Кета западного побережья	7–11 (8)	1–3	4–7 (0+)	Шунтов, Темных, 2008; Макоедов и др., 2009
Нерка северо-восточного побережья	6–12 (7–8)	1–5	3–9 (1+, 2+)	Шунтов, Темных, 2008; Бугаев, 2011
Нерка западного побережья	6–12 (7–8)	1–5	5–7 (1+, 2+)	Шунтов, Темных, 2008; Бугаев, 2011
Кижуч северо-восточного побережья	6–10 (8–9)	1–8	5–8 (1+, 2+)	Шунтов, Темных, 2008; Зорбиди, 2010
Кижуч западного побережья	7–2 (8–9)	1–8	5–8 (1+, 2+)	Шунтов, Темных, 2008; Зорбиди, 2010
Чавыча северо-восточного побережья	8–9	10–5	5–8 (1+)	Шунтов, Темных, 2008
Чавыча западного побережья	6–9 (7–8)	10–5	4–8 (1+)	Шунтов, Темных, 2008

Для выявления воздействия абиотических и прочих факторов на обилие морских рыб на основе многолетних данных межгодовой изменчивости факторов среды, упомянутых в разделе «Материал и методика» [Datsky et al., 2021: табл. 1], была рассчитана сила связи между ними и биомассой рыб, которая измерялась через МИК. Первичный анализ МИК показал, что без сдвига находятся 8750 статистических связей, где МИК $\geq 0,9$, а со сдвигом – 42773 [Datsky et al., 2021:

табл. 2, 3]. Объяснение полученных результатов может быть представлено в дальнейших исследованиях. Здесь отметим, что среди используемых в работе факторов среды (табл. 9), тесно связанных с обилием региональных группировок морских рыб, наиболее часто встречающимися являются температура воды в различных горизонтах (от поверхности до дна), ледовитость, цветение фитопланктона и биомасса различных фракций и видов зоопланктона.

Таблица 9. Значимые связи (значения МИК $\geq 0,9$) между факторами среды и биомассой рыб в морских акваториях Дальнего Востока

Table 9. Significant relationships (MIC values ≥ 0.9) between environmental factors and fish biomass in marine areas of the Far East

Вид, группировка	Факторы среды															Количество значимых факторов среды
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Минтай анадырско-наваринский			+	+	+	+	+		+	+	+	+			+	10
Минтай северо-восточного Сахалина			+	+	+		+			+	+	+	+	+	+	10
Минтай западноберинговоморский			+	+	+	+	+			+	+	+			+	9
Минтай восточноберинговоморский (США)			+	+			+			+	+	+			+	7
Минтай восточноохотоморский			+				+			+	+	+			+	6
Минтай Японского моря (Приморье)	+	+								+					+	4
Минтай восточнокамчатский			+				+								+	3
Треска анадырско-наваринская			+	+	+		+			+	+	+			+	8
Треска карагинская			+	+		+	+		+			+			+	7
Треска западнокамчатская							+			+	+	+	+	+	+	7
Треска южнокурильская			+	+	+		+								+	5
Треска западносахалинская			+								+	+				3
Треска восточнокамчатская							+								+	2
Навага карагинская			+	+					+		+	+			+	6
Навага залива Терпения (вост. Сахалин)			+				+					+	+	+	+	6
Навага западнокамчатская										+	+	+	+		+	5
Терпуг северный одноперый вост. Камчатки и сев. Курил			+	+		+	+			+	+	+			+	8
Терпуг южный одноперый южных Курил							+					+			+	3
Камбала двухлинейная восточнокамчатская			+		+	+	+		+						+	6
Камбала желтопёрая западнокамчатская			+							+	+	+		+	+	6
Камбала желтопёрая карагинская				+		+	+				+	+				5
Камбала желтопёрая залива Терпения (вост. Сахалин)										+	+	+		+		4
Камбала желтопёрая западносахалинская											+					1
Сельдь восточноберинговоморская (США)			+	+	+	+	+		+	+	+	+			+	10
Сельдь гижигинско-камчатская			+				+			+		+	+	+		6

Вид, группировка	Факторы среды															Количество значимых факторов среды
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Сельдь восточноберингоморская (РФ)						+			+		+	+			+	5
Сельдь корфо-карагинская						+			+		+	+				4
Сельдь охотская			+							+	+	+				4

Примечание. Факторы среды [Datsky et al., 2021: табл. 1]: 1 – атмосферное давление, мбар; 2 – относительная влажность воздуха, %; 3 – температура воды (поверхность), t °C; 4 – температура воды (у дна), t °C; 5 – аномалии температуры воды (слой 50 м), t °C; 6 – аномалии температуры воды (у дна), t °C; 7 – ледовитость, %; 8 – ледовитость (площадь льдов), км²; 9 – цветение фитопланктона (кокколитофоры), тыс. км²; 10 – биомасса мелкой фракции зоопланктона, мг/куб. м; 11 – биомасса средней фракции зоопланктона, мг/куб. м; 12 – биомасса крупной фракции зоопланктона, мг/куб. м; 13 – биомасса сагитт, млн т; 14 – биомасса эвфаузиид, млн т; 15 – солнечная активность, число Вольфа, W. Пустые ячейки – данные отсутствуют, данные есть, но МИК < 0,9. Группировки видов даны в порядке снижения количества значимых факторов среды, сопряженных с обилием рыб.

Наибольшее количество факторов среды, сопряженных с биомассой рыб, выявлено у минтая и наваги Берингова моря и вод восточного Сахалина, трески и желтопёрой камбалы Берингова моря и акватории западной Камчатки, сельди восточноберингоморской и гижигинско-камчатской (табл. 9). Для формирования обилия почти всех группировок минтая самыми значимыми оказались температура поверхности воды и ледовитость (что объяснимо, см. табл. 7), биомасса мелкой и прочих фракций зоопланктона. У трески важным фактором, помимо указанных выше, являлась температура воды у дна. Отметим также значимость для всех анализируемых рыб присутствия средней и крупной фракций зоопланктона. Отдельно следует упомянуть силу связи между числами Вольфа, определяющими солнечную активность, и биомассой рыб с различной временной задержкой [Datsky et al., 2021: табл. 4]. Несмотря на отсутствие в настоящее время чёткого физического обоснования механизмов влияния солнечной активности на земные процессы [Колесник, 2002 б], найденные закономерности могут представлять научный интерес в будущем. Такие связи с обилием рыб сильны (МИК $\geq 0,9$) у 21 единицы запасов из 28 (табл. 9), среди которых все группировки минтая и наваги, треска Берингова и Охотского морей и прилегающей акватории Тихого океана, восточноберингоморская сельдь, камбалы желтопёрая западнокамчатская и двухлинейная, два вида терпугов. Напротив, сравнительно низкие связи солнечных циклов и биомасс обнаружены для сельдей Охотского и юго-западной части Берингова морей, желтопёрой камбалы карагинской, западного и восточного Сахалина, западносахалинской трески.

Так, если отключить оптимизацию псевдоузлов тонкоплёночного сплайна в пакете mgcv через обобщённую кросс-валидацию и назначить их размер-

ность (k) равной 20, то только по одному из предикторов (ледовитость Охотского моря в декабре-мае 3 года назад) доля описанной дисперсии вырастет до 53,1%, что гораздо выше, чем у финальной ОЛМ (29,2%). При этом есть важные последствия такой настройки. Во-первых, форму сплайна будет невозможно интерпретировать (рис. 16), во-вторых, её BIC будет существенно выше (706), чем у ОЛМ (662). Другими словами, ОАМ здесь формально хуже ОЛМ: она имеет меньше обобщающей способности, несмотря на лучшее сходжение с наблюдениями. Если также неправильно настроить ОАМ, зафиксировав размерность сплайнов на 20, а не оптимизировать её ещё и со вторым членом ОЛМ (число Вольфа 4 года назад), то доля описанной дисперсии достигнет 91,6%, но сплайны потеряют статистическую значимость ($p > 0,1$). В целом, при сознательной настройке ОАМ без оптимизации измерений сплайнов, например, через кросс-валидацию, модельную кривую по динамике промысловой биомассы минтая можно провести абсолютно точно, но смысловой нагрузки она нести не будет. Авторам такой идеально проходящей по наблюдениям ОАМ будет трудно объяснить сплайны в виде «кардиограмм» вместо простых и понятных эффектов (линейных, квадратичных или других более интерпретируемых), а прогнозы такой ОАМ в перспективе приведут к значительным ошибкам.

Таким образом, если по отдельности связи, согласно МИК, определялись как нелинейные, что и наблюдается при настройке ОАМ (рис. 16), то в совместном их сочетании в логарифмическом масштабе с оптимизацией числа измерений сплайнов, последние оказались равны 1 (стали линейными, но в логарифмическом масштабе). Так, ОАМ стала ОЛМ, которая описывается формулами 1–6 и рассчитанными на их основе параметрами модели (табл. 11):

Таблица 10. Особенности формирования обилия рыб в дальневосточных морях и прилегающих акваториях
Table 10. Features of the formation of the abundance of fish in the Far Eastern seas and adjacent waters

Район	Виды со сходной динамикой биомассы	Виды с противоположной динамикой биомассы	Пояснение
Северо-западная часть Берингова моря (анадырско-наваринский район)	минтай – треска	минтай – сельдь треска – сельдь	Рост обилия сельди приводит к росту запасов минтая через 2–4 года, после этого запасы сельди снижаются
Юго-западная часть Берингова моря (корфокарагинский район)	минтай – треска треска – навага (до 2010 г.) треска – желтопёрная камбала навага – сельдь (после 2010 г.) желтопёрная камбала – сельдь	минтай – сельдь минтай – желтопёрная камбала треска – сельдь навага – сельдь (до 2010 г.)	Динамика биомассы трески имеет высокое сходство с минтаем с запаздыванием на 4–5 лет
Северо-западная часть Тихого океана (у юго-восточного побережья Камчатки, северных Курильских островов)	минтай – треска	минтай – северный однопёрый терпуг минтай – двухлинейная камбала треска – северный однопёрый терпуг треска – двухлинейная камбала	Динамика биомассы трески имеет высокое сходство с минтаем с запаздыванием на 5–7 лет
Северо-западная часть Тихого океана (у южных Курильских островов)	треска – южный однопёрый терпуг (до 2000 г.)	треска – южный однопёрый терпуг (после 2000 г.)	–
Северо-восточная часть Охотского моря (преимущественно у западной Камчатки)	минтай – треска (до 2012 г.) минтай – желтопёрная камбала (до 2006 г.) треска – навага треска – желтопёрная камбала	минтай – сельдь минтай – треска (после 2012 г.) минтай – желтопёрная камбала (после 2006 г.) треска – сельдь желтопёрная камбала – сельдь навага – сельдь	–
Охотское море (у северо-восточного Сахалина, залив Терпения)	минтай – сельдь (после 2001 г.), минтай – треска (до 1993 г.)	минтай – сельдь (до 2001 г.) минтай – треска (после 1993 г.) минтай – желтопёрная камбала треска – сельдь треска – желтопёрная камбала	–
Японское море (у западного Сахалина и Приморья)	минтай – треска треска – желтопёрная камбала	–	–

$$B_i \sim \text{Gamma}(\mu_i, \nu); \quad (1)$$

$$E(B_i) = \mu_i = e^{\eta_i}; \quad (2)$$

$$g(\mu_i) = \ln(\mu_i); \quad (3)$$

$$\text{Var}(B_i) = \phi \mu_i^2; \quad (4)$$

$$\phi = \sigma^2 = \nu^{-1}; \quad (5)$$

$$\eta_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 y_i, \quad (6)$$

где B – промысловая биомасса, тыс. т; Gamma – распределение гамма с параметрами μ_i , ν ; E – математическое ожидание; η – линейный предиктор, g – функция связи с наблюдениями; Var – дисперсия с параметром ϕ , β_0 , β_1 и β_2 – параметры ОЛМ, x – ледови-

тость Охотского моря 3 года назад в декабре-мае, %; y – число Вольфа 4 года назад.

Отметим здесь, что по отдельности корреляция Пирсона между натуральным логарифмом промысловой биомассы минтая и предикторами x и y слаба: $r(\ln(B_i), \ln(x_i)) = 0,34$ и статистически незначима $r(\ln(B_i), \ln(y_i)) = -0,21$ ($p > 0,16$), а в ОЛМ все найденные коэффициенты имеют высокую статистическую значимость ($p < 0,0001$). При этом в целом доля описанной дисперсии равна 29,2%, а корреляция в естественном масштабе между рядами $r(B, E(B)) = 0,57$. Таким образом, МИК действительно позволил найти предикторы, которые в классическом поиске через корреляции были бы пропущены (их эффекты линейны, но в совокупности в логарифмическом масштабе, а не по отдельности). Предсказанные значения $E(B)$ по формуле показаны на рис. 17.

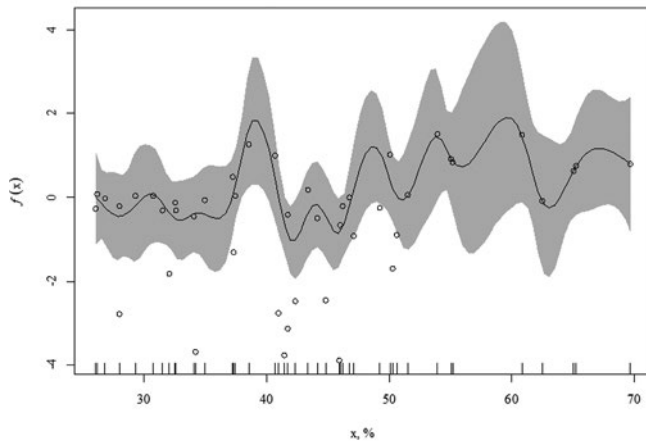


Рис. 16. Ответ фиксированного сплайна в обобщенных аддитивных моделях (ОАМ) для прогноза промысловой биомассы минтая у северо-восточного Сахалина (по оси ординат) в зависимости от ледовитости Охотского моря 3 года назад в декабре-мае (по оси абсцисс, %) [по: Пищальник и др., 2016; 2020]

Fig. 16. The answer of a fixed spline in generalized additive models (GAM) for forecasting the commercial biomass of walleye pollock off northeastern Sakhalin (on the ordinate) depending on the ice extent of the Sea of Okhotsk 3 years ago in December-May (on the abscissa, %) [by: Pischalnik et al., 2016, 2020]

Следуя вышесказанному, из множества вероятных сильных парных нелинейных связей биомассы минтая у северо-восточного Сахалина с различными лагами потенциальных предикторов оптимальной оказалась ОЛМ, содержащая всего два предиктора, но с логлинейными отношениями. Сходных результатов, вероятно, можно ожидать и в других случаях. Следовательно, приведённые в приложении оценки МИК [Datsky

Таблица 11. Найденные параметры обобщённой линейной модели (ОЛМ) и их неопределённость

Table 11. The found parameters of the generalized linear model (GLM) and their uncertainty

Параметр	Оценка параметра	Стандартное отклонение, оценки
β_0	5,175160	0,419540
β_1	0,037998	0,009786
β_2	-0,006684	0,001789

et al., 2021: табл. 2, 3] не должны восприниматься как руководство к включению всех потенциальных предикторов в ОАМ для каждого запаса, а служат преимущественно для уточнения их стартовых наборов в целях последующего поиска оптимальных ОАМ, ОЛМ или более сложных методов, например, машинного обучения. Таким образом, найденные сильные МИК особенно там, где корреляция близка к нулю, призваны воодушевить исследователей к проведению более детальных анализов, чем обычные линейные модели.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Динамика численности гидробионтов зависит от множества факторов, которые можно сгруппировать в естественные абиотические (климато-океанологические, геофизические) и биотические (кормовая база, хищники, паразиты), популяционно-генетические, эндогенные и антропогенные (промысел, загрязнение среды обитания и т.п.). Совместный учет всех этих факторов в идеале должен привести исследователя

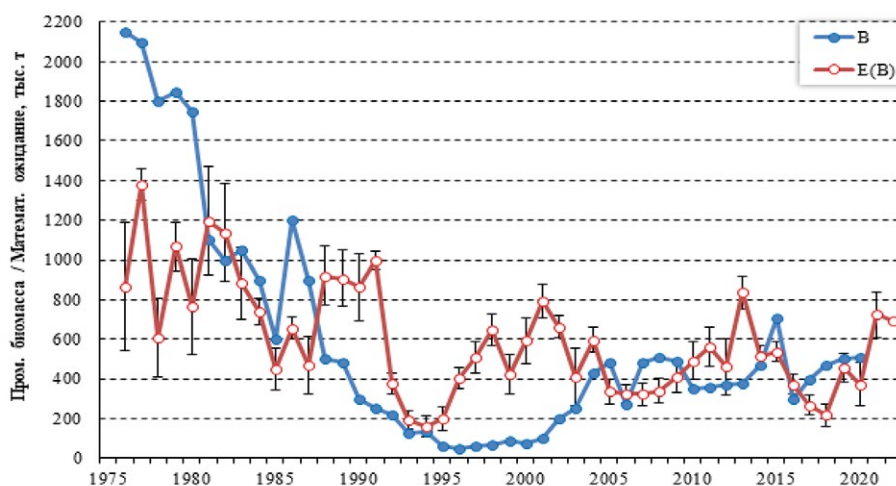


Рис. 17. Биомасса промыслового запаса минтая (B, тыс. т) у северо-восточного Сахалина и её математическое ожидание E(B). Усами показана стандартная ошибка

Fig. 17. Biomass of the commercial stock of walleye pollock (B, thousand tons) in northeastern Sakhalin and its mathematical expectation E (B). Mustache shows standard error

к пониманию причин флуктуации численности рыб и достоверному прогнозу их вылова на ближайшую и долгосрочную перспективы. При этом следует признать слабую изученность отдельных сторон жизни гидробионтов и их окружения. Особенно это касается генетических и физиологических особенностей отдельных организмов и групп особей, а также начального периода их жизни. Очевидно, что именно осмысление эндогенных процессов в популяциях вкупе с изучением кормовой базы (простейшие, бактерии, миктофиты и т.п.) молоди (личинок, мальков) и обеспеченность ею ранних стадий рыб, позволит сделать качественный скачок в постижении природы периодических колебаний численности гидробионтов.

В то же время современные реалии в рыбной отрасли таковы, что результат нужен здесь и сейчас, а времени для многолетних и финансово затратных исследований нет. В этом случае представляется единственно верным обобщение всей имеющейся информации по обилию рыб и их окружению, позволяющее достоверно охарактеризовать состояние гидробионтов во времени. Важно отметить, что настоящим исследованием по единой методике были охвачены региональные группировки массовых рыб, которые, помимо своей рыбопромысловой значимости (на их долю приходится до 80% вылова в дальневосточных морях и прилегающих к ним акваториях), относятся к видам с различной жизненной стратегией (пелагические, донно-придонные, анадромные). Последнее подразумевает, что такие объекты могут по-разному реагировать на одни и те же факторы среды. Полагая, что основное воздействие природной среды приходится на молодь рыб, дальнейший рост которых в случае появления урожайных поколений и приводит к пикам биомасс, на основе современных информационных технологий были выделены скоррелированные с обилием морских рыб базовые факторы, которые в дальнейшем могут использоваться в целях прогнозирования. Здесь необходимо отметить, что любые индексы сами по себе не «вскрывают» механизмы влияния условий среды. Именно поэтому в данной работе был использован максимальный информационный коэффициент, который статистически тонко и зачастую более надежно указывает на многочисленные и сложные связи факторов среды и биоты, нежели стандартные коэффициенты и индексы. По сути используемые в настоящее время модели прогнозирования, которые часто формальны и не всегда учитывают особенности биологии рыб и условия их обитания, могут быть скорректированы влиянием факторов среды, а, значит, приблизятся в своих результатах к реальности.

В целом природные связи с определённой периодичностью вызывают особый интерес в свете возможного прогнозирования уловов морских рыб. Весь накопленный запас знаний о внешних оболочках Земли (в первую очередь атмосфера и гидросфера) показывает сложную многопараметрическую систему, в которой наблюдаются колебательные процессы. Часть колебаний задана годовыми изменениями условий инсоляции разных участков земной поверхности и соответствующими изменениями многих параметров. Другая часть связана с вращением Земли, перемещениями атмосферных масс, циркуляцией в земной атмосфере, циклонической деятельностью. Сочетание многих земных факторов и наложенного внешнего воздействия вызывает колебательные (циклические) процессы, периодичность которых зависит от инерционности компонентов системы [Язев и др., 2009]. Иными словами, природе свойственна пульсация разнообразных геофизических параметров, имеющих различные периоды и интенсивность. К примеру, в повторяемости сейсмической активности, атмосферных и льдообразовательных процессов, температурных режимов воздушных и водных масс выявлена преобладающая цикличность 8–11 лет (в меньшей степени 18–20 лет). Вполне закономерным представляется и соответствующий отклик живой природы посредством синхронизации существующих гелиогеофизических колебательных процессов соответствующих периодов.

Согласно ведущей концепции гелиобиофизики ритмические колебания гелиогеомагнитных показателей завели «биологические часы» и в процессе эволюции интегрировались в эндогенную ритмику биологических систем. При этом многие биоритмы синхронизируются геофизическими колебательными процессами соответствующих периодов [Бреус, 2003; Малоземов, 2016]. На уровне систем организмов хорошо известны колебания численности некоторых популяций. Эти «волны жизни» наиболее чётко наблюдаются с периодами около 3–4 и 10 лет. В некотором роде, подтверждением этому явились результаты настоящего исследования, когда в формировании максимумов обилия морских рыб, исключая тихоокеанских лососей, выявлена осредненная периодичность в пределах 6–13 лет (у пелагической сельди — 6–8 лет, у прочих видов — 9–13 лет). В то же время у лососей (как и в появлении урожайных поколений большинства исследованных рыб) отмечена 3–7-летняя цикличность пиков обилия, что, по-видимому, может указывать на большую их чувствительность к воздействию природной среды.

Важным итогом исследования можно считать также тот факт, что по причине региональности воз-

действия абиотических и прочих факторов в дальневосточных морях и прилегающих к ним акваториям Тихого океана, в динамике запасов рыб различных группировок в пределах одного вида выявлена отличная друг от друга цикличность в формировании их обилия. К примеру, у трески, обитающей у берегов западного Сахалина, максимумы продуктивности формировались в среднем на 2,4 года чаще, нежели у карагинской трески, а у охотской сельди относительно восточноберинговоморской — на 1,5 года. По этой причине обобщения на материале, включающем в себя осреднённые данные по многолетней динамике биомассы любого вида, обитающего на обширной акватории, вероятнее всего покажут отличные от реальности результаты и могут привести к неверным выводам в ходе прогнозирования уловов рыб.

Среди используемых в работе факторов среды, тесно связанных с обилием региональных группировок морских рыб, наиболее часто встречающимися были температура воды в различных горизонтах (от поверхности до дна), ледовитость, цветение фитопланктона, биомасса различных фракций и видов зоопланктона и солнечная активность. Максимальное количество таких факторов выявлено у группировок минтая и наваги Берингова моря и вод восточного Сахалина, трески и желтопёрой камбалы Берингова моря и акватории западной Камчатки, сельди восточноберинговоморской и гижигинско-камчатской. Для формирования обилия большинства группировок минтая наиболее значимыми оказались поверхностная температура воды, ледовитость, биомасса мелкой и прочих фракций зоопланктона, у трески дополнительно и температура воды у дна. Отметим также важность для всех анализируемых рыб доступного наличия средней и крупной фракций зоопланктона, основных кормовых ресурсов для молоди и впервые созревающих особей. Среди прочих причин флуктуации численности объектов исследования необходимо учитывать и взаимовлияние отдельных видов посредством хищничества и соперничества за сходную кормовую базу, а также антропогенное воздействие. В последнем случае, принимая во внимание незначительное загрязнение дальневосточных морей [Динамика..., 2000; Патин, 2008; Лукьянова и др., 2018], за исключением некоторых прибрежных районов Японского моря [Ростов и др., 2016], вмешательство человека в основном заключается в осуществлении промышленного и иных видов рыболовства. При этом настоящие исследования показали незначительное его влияние на обилие рыб на современном этапе: у большинства из них при росте биомассы уловы увеличиваются незначительно или даже снижаются.

В целом вопрос использования факторов окружающей морских рыб природной среды в прогнозировании их уловов является чрезвычайно актуальным ещё и по той причине, что гелиогеофизические и климато-океанологические явления на Земле изучаются довольно давно. В ходе многочисленных исследований выявлены закономерности в периодичности таких явлений, что позволило сформировать перспективные прогнозы, точность которых в отдельных случаях достигает 88% [Плотников и др., 2019]. В отношении биологических систем всё сложнее: помимо коротких временных рядов данных, прогнозирование численности рыб затруднено дополнительными сложными многофакторными связями [Радченко, 2015; Горбатенко, 2018], сложившимися в морских экосистемах в целом и рыбных сообществах в частности. Не следует забывать и о влиянии на биоту хищников, паразитов и болезней, а также о действии популяционных и эндогенных факторов. В последнем случае, физиологическое и генетическое состояние животных при различной численности существенно отличается, а при достижении максимумов обилия в действие вступают нейроэндокринные механизмы авторегуляции, начинаются демографические перестройки в популяциях, приводящие к изменению их биотического потенциала [Шварц, 1969; Чернявский, 1984; 2007]. В целом циклы как комплексное биологическое явление есть результат достаточно длительной сопряжённой эволюции морских рыб, других компонентов экосистемы, абиотических факторов среды, и прогнозирование уловов возможно при учёте наибольшего числа переменных.

Применённый в настоящей работе метод прогнозирования через использование МИК как раз и позволяет найти предикторы, которые в классическом поиске через корреляции были бы пропущены, и его применение видится перспективным при условии использования точных первичных данных для последующих расчётов. Такие данные должны быть максимально приближены к срокам и районам обитания рыб с обязательным учётом действия факторов среды на наиболее уязвимые онтогенетические группы (от икры до годовалых особей). В качестве примера важности сбора подобной информации можно привести классификацию суровости зим на основе многолетних материалов по ледовым условиям дальневосточных морей, где в зависимости от района сбора данных зима в пределах одного года варьировала как мягкая, умеренная и суровая [Думанская, 2017]. Вполне предсказуемо, что во всех трёх случаях результаты прогнозирования уловов рыб будут значительно отличаться.

Решение проблемы точной фиксации факторов среды в пределах обитания морских рыб и их тонкой настройки на предмет влияния на обилие гидробионтов крайне важно и по причине возможных грядущих климатических перестроек на Земле. Поскольку вариации климата определяются долговременным дисбалансом поступающей в верхние слои земной атмосферы энергии солнечного излучения и уходящей суммарной энергии от Земли обратно в космос, после максимума 24-го солнечного цикла прогнозируется переходный от глобального потепления к глубокому похолоданию период нестабильных климатических изменений. В данном случае ориентировочно в 2042±11 г. намечается наступление глубокого квазидвухвекового минимума солнечной постоянной, а в 2055±11 г. (по причине инерции Мирового океана в отдаче накопленной солнечной энергии в течение 14±6 лет) — наступления Малого ледникового периода [Абдусаматов, 2012]. Вероятность такого прогноза прослеживается в отдельных работах [Гудкович и др., 2013; Жеребцов и др., 2013]. Подобные изменения климата приведут и к перестройкам в морских экосистемах, включая рыбные сообщества, что в полной мере отразится на распределении ресурсов рыб и их обилии. И в этом случае выявление достоверных механизмов многофакторного влияния природной среды на морскую биоту позволит спрогнозировать грядущие изменения и сгладить их возможные последствия в рамках деятельности рыбной отрасли и перспектив развития рыболовства. Наилучшие результаты здесь можно получить посредством междисциплинарных исследований с использованием современных судов и аппаратуры, коммуникационных и компьютерных технологий, стремительно развивающихся в последние годы.

В текущий момент достоверное долгосрочное прогнозирование обилия морских рыб на фоне имеющихся знаний и сложности учёта многочисленных природных и прочих факторов среды, оказывающих влияние на рыбные ресурсы, представляется затруднительным. В то же время выявленные в настоящей работе закономерности в периодичности формирования биомассы отдельных видов и их региональных группировок позволят скорректировать методологию краткосрочного прогнозирования (до 2–3 лет) сырьевой базы рыб дальневосточных морей и прилегающих районов открытой части Тихого океана.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов.

Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

Финансирование

Работа не имела дополнительного спонсорского финансирования.

ЛИТЕРАТУРА

- Абдусаматов Х.И. 2012. Двухвековое уменьшение солнечной постоянной приводит к несбалансированному тепловому бюджету Земли и глубокому похолоданию климата // Кинематика и физика небесных тел. Т. 28, № 2. С. 22–33.
- Антонов Н.П. 1991. Биология и динамика численности восточнокамчатского минтая: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Владивосток: ТИНРО. 23 с.
- Антонов Н.П. 2011. Промысловые рыбы Камчатского края: биология, запасы, промысел. М.: ВНИРО. 244 с.
- Антонов Н.П. 2013. Треска *Gadus macrocephalus* прикамчатских вод // Тихоокеанская треска дальневосточных вод России / Под ред. А.М. Орлова. М.: Изд-во ВНИРО. С. 133–151.
- Антонов Н.П., Датский А.В. 2019. Использование сырьевой базы морских рыб в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне в 2018 г. // Рыбное хозяйство. № 3. С. 66–76.
- Антонов Н.П., Датский А.В., Мазникова О.А., Митенкова Л.В. 2016. Современное состояние промысла тихоокеанской сельди в дальневосточных морях // Рыбное хозяйство. № 1. С. 54–58.
- Антонов Н.П., Золотов О.Г. 1987. Особенности размножения восточнокамчатского минтая // Популяционная структура, динамика численности и экология минтая. Владивосток: ТИНРО. С. 123–132.
- Антонов Н.П., Кузнецова Е.Н. 2018. Современное состояние использования сырьевой базы дальневосточных камбал // Рыбное хозяйство. № 5. С. 56–61.
- Атлас распространения в море различных стад тихоокеанских лососей в период весенне-летнего нагула и преднерестовых миграций. 2002. М.: ВНИРО. 190 с.
- Бабаян В.К. 2000. Предосторожный подход к оценке общего допустимого улова (ОДУ). Анализ и рекомендации по применению. М.: Изд-во ВНИРО. 190 с.
- Бабаян В.К., Васильев Д.А., Варкентин А.И., Сергеева Н.П. 2006. Методические особенности обоснования ОДУ минтая в условиях неопределенности // Труды ВНИРО. Т. 146. С. 13–37.
- Балыкин П.А. 1993. Изменчивость сроков нереста и смертность развивающейся икры у западноберинговоморского минтая (*Theragra chalcogramma* (Pallas)) // Исследование биологии и динамики численности промысловых рыб камчатского шельфа. Вып. 2. Петропавловск-Камчатский: КОТИНРО. С. 166–176.
- Балыкин П.А. 2006. Ихтиоцены западной части Берингова моря: состав, промысловая значимость и состояние запасов: Автореф. дисс. ... докт. биол. наук. М.: ВНИРО. 50 с.
- Балыкин П.А., Варкентин А.И. 2002. Распределение икры, личинок и сеюлеток минтая *Theragra chalcogramma*

- (Gadidae) в северо-западной части Берингова моря // Вопросы ихтиологии. Т. 42, № 6. С. 798–805.
- Балыкин П.А., Золотов А.О. 2010. Межвидовые отношения гидробионтов как фактор динамики численности // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Вып. 17. С. 24–29.
- Беринговоморская минтаевая путина — 2017 (путинный прогноз). 2017. Владивосток: ТИНРО-Центр. 71 с.
- Борец Л.А. 1997. Донные ихтиоцены российского шельфа дальневосточных морей: состав, структура, элементы функционирования и промысловое значение. Владивосток: ТИНРО-Центр. 217 с.
- Борец Л.А., Степаненко М.А., Николаев А.В., Грицай Е.В. 2002. Состояние запасов минтая в наваринском районе Берингова моря и причины, определяющие эффективность его промысла // Известия ТИНРО. Т. 130, ч. III. С. 1001–1014.
- Бреус Т.К. 2003. Влияние солнечной активности на биологические объекты: Автореф. дисс. ... докт. физ.-мат. наук. М.: ИКИ РАН. 32 с.
- Бугаев В.Ф. 2011. Азиатская нерка-2 (биологическая структура и динамика численности локальных стад в конце XX — начале XXI вв.). Петропавловск-Камчатский: Изд-во Камчатпресс. 380 с.
- Бугаев В.Ф., Вронский Б.Б., Заварина Л.О., Зорбиди Ж.Х., Остроумов А.Г., Тиллер И.В. 2007. Рыбы реки Камчатка. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатНИРО. 459 с.
- Булатов О.А. 1986. Распределение икры и личинок тресковых (подсемейство Gadinae) в тихоокеанских водах Камчатки и западной части Берингова моря // Тресковые дальневосточных морей. Владивосток: ТИНРО. С. 89–102.
- Булатов О.А. 1987. Икра и личинки минтая в восточной части Берингова моря // Популяционная структура, динамика численности и экология минтая. Владивосток: ТИНРО. С. 100–114.
- Булатов О.А. 2004. Минтай (*Theragra chalcogramma*) Берингова моря: размножение, запасы и стратегия управления промыслом: Автореф. дисс. ... докт. биол. наук. М.: ВНИРО. 49 с.
- Булатов О.А. 2014. Промысел и запасы минтая: возможна ли турбулентность? // Вопросы рыболовства. Т. 15, № 4. С. 350–390.
- Булатов О.А. 2017. Вертикальное распределение икры и личинок минтая // Вопросы рыболовства. Т. 18, № 3. С. 269–285.
- Буслов А.В. 2001. Новые данные о распределении и миграциях минтая в тихоокеанских водах северных Курильских островов и юго-восточной Камчатки // Известия ТИНРО. Т. 128. С. 229–241.
- Буслов А.В. 2008. Минтай восточного побережья Камчатки: современное состояние запасов и рекомендации по рациональной эксплуатации // Известия ТИНРО. Т. 152. С. 3–17.
- Буслов А.В., Тепнин О.Б. 2002. Условия нереста и эмбриогенеза минтая *Theragra chalcogramma* (Gadidae) в глубоководных каньонах тихоокеанского побережья Камчатки // Вопросы ихтиологии. Т. 42, № 5. С. 617–625.
- Буслов А.В., Тепнин О.Б., Дубинина А.Ю. 2004. Некоторые особенности экологии нереста и эмбриогенеза восточнокамчатского минтая // Известия ТИНРО. Т. 138. С. 282–298.
- Варкентин А.И. 2015. Новые данные о сроках массового нереста минтая (*Theragra chalcogramma*) у Западной Камчатки // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Вып. 39. С. 70–74.
- Вдовин А.Н., Четырбоцкий А.Н., Нуждин В.В. 2017. Динамика численности приморского минтая *Theragra chalcogramma* (Pallas, 1814) (Gadiformes: Gadidae) в Японском море // Биология моря. Т. 43, № 5. С. 321–328.
- Вершинин В.Г. 1984. Биология и промысел трески северо-западной части Тихого океана: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Владивосток: ДВНЦ АН СССР. 21 с.
- Вершинин В.Г. 1987. О биологии и современном состоянии запасов трески северной части Берингова моря // Биологические ресурсы Арктики и Антарктики. М.: Наука. С. 207–224.
- Винников А.В. 2008. Тихоокеанская треска Западной Камчатки: биология, динамика численности, промысел: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Владивосток: ИБМ ДВО РАН. 24 с.
- Волвенко И.В. 2014. Сравнение дальневосточных морей и северо-западной части Тихого океана по интегральным характеристикам траловой макрофауны пелагиали и дна // Известия ТИНРО. Т. 178. С. 58–67.
- Волков А.Ф. 2014. Состояние кормовой базы тихоокеанских лососей в Беринговом море в 2003–2012 гг. (по результатам работ международных экспедиций BASIS-1 и 2) // Известия ТИНРО. Т. 179. С. 250–271.
- Вышегородцев В.А. 1987. К вопросу репродуктивной изоляции североохотоморской популяции минтая // Популяционный состав, динамика численности и экология минтая. Владивосток: ТИНРО. С. 39–47.
- Глубоков А.И., Алексеев Д.О., Бизиков В.А. 2000. О каннибализме минтая в северо-западной части Берингова моря в конце 90-х годов // Вопросы рыболовства. Т. 1, № 4. С. 91–97.
- Горбатенко К.М. 2018. Трофодинамика гидробионтов в Охотском море: Автореф. дисс. ... докт. биол. наук. Владивосток: ТИНРО. 47 с.
- Горбунова Н.Н. 1954. Размножение и развитие минтая // Труды ИО АН СССР. Т. 11. С. 132–195.
- Горбунова Н.Н. 1959. О размножении южного одноперого терпуга // Известия ТИНРО. Т. 47. С. 145–153.
- Грицай Е.В. 2006. Изменчивость размерно-возрастного состава минтая на восточно- и северо-беринговоморской шельфе // Известия ТИНРО. Т. 146. С. 84–102.
- Грицай Е.В., Шейбак А.Ю. 2009. Анализ промысла и динамика размерно-возрастного состава минтая в Анадырско-Наваринском районе в 2003–2008 гг. // Известия ТИНРО. Т. 158. С. 158–186.
- Гудкович З.М., Карклин В.П., Миронов Е.У., Иванов В.В., Лосев С.М., Дымент Л.Н., Смоляницкий В.М., Фролов С.В., Юлин А.В., Усольцева Е.А. 2013. Развитие ледовых и метеорологических условий в Арктике в период 2007–2013 гг. // Проблемы Арктики и Антарктики. № 2 (96). С. 90–102.
- Датский А.В. 2004. Размножение минтая *Theragra chalcogramma* (Gadidae) в Анадырском заливе // Вопросы рыболовства. Т. 5, № 4(20). С. 597–617.

- Датский А.В., Андронов П.Ю. 2007. Ихтиоцен верхнего шельфа северо-западной части Берингова моря. Магадан: СВНЦ ДВО РАН. 261 с.
- Дементьева Т.Ф. 1961. Значение решающего фактора в свете годовых и многолетних колебаний численности популяций. Труды совещания по динамике численности рыб. М.: Изд-во РАН. Вып. 13. С. 34–43.
- Динамика экосистем Берингова и Чукотского морей. 2000. М.: Наука. 357 с.
- Дудник Ю.И., Золотов О.Г. 2000. Распространение, особенности биологии и промысел одноперых терпугов рода *Pleurogrammus* (Hexagrammidae) в прикурильских водах // Промыслово-биологические исследования рыб в тихоокеанских водах Курильских островов и прилежащих районах Охотского и Берингова морей в 1992–1998 гг. М.: Изд-во ВНИРО. С. 78–90.
- Думанская И.О. 2017. Ледовые условия морей азиатской части России. М.; Обнинск: ИГ-СОЦИН. 640 с.
- Дьяков Б.С. 2010. Закономерности развития гидрометеорологических условий Японского моря в 1950–2009 гг. и прогноз температуры воды // Вопросы промысловой океанологии. Вып. 7. № 2. С. 102–108.
- Дьяков Ю.П. 2011. Камбалообразные (Pleuronectiformes) дальневосточных морей России (пространственная организация фауны, сезоны и продолжительность нереста, популяционная структура вида, динамика популяций). Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатНИРО. 433 с.
- Жеребцов Г.А., Коваленко В.А., Молодых С.И., Кириченко К.Е. 2013. Влияние солнечной активности на температуру тропосферы и поверхности океана // Известия Иркутского гос. ун-та. Серия «Науки о Земле». Т. 6, № 1. С. 61–79.
- Зверькова Л.М. 1969. О нересте минтая в водах западного побережья Камчатки // Вопросы ихтиологии. Т. 9, вып. 2. С. 270–275.
- Зверькова Л.М. 1971. Размножение минтая у юго-западного побережья Сахалина // Известия ТИНРО. Т. 76. С. 62–75.
- Зверькова Л.М. 1977. Созревание, плодовитость и районы размножения минтая *Theragra chalcogramma* (Pallas) в северо-восточной части Японского моря // Вопросы ихтиологии. Т. 17, вып. 3. С. 462–468.
- Зверькова Л.М. 1981. Внутривидовая структура минтая в Охотском море // Экология, запасы и промысел минтая. Владивосток: ТИНРО. С. 41–56.
- Зверькова Л.М. 1987. Пространственно-временная структура района воспроизводства минтая *Theragra chalcogramma* (Gadidae) в северной части Охотского моря // Вопросы ихтиологии. Т. 27, вып. 3. С. 414–420.
- Зверькова Л.М., Пушиков В.В. 1980. Распределение пелагической икры минтая в Охотском море // Рыбохозяйственные исследования умеренных вод Тихого океана. Владивосток. С. 117–123.
- Золотов А.О. 2008. Использование траловых съёмок для оценки численности камбал Карагинского и Олюторского заливов: методика и результаты // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Вып. 13. С. 51–58.
- Золотов А.О. 2009. Моделирование оптимального режима промысла желтоперой камбалы западной части Берингова моря // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Вып. 11. С. 100–104.
- Золотов А.О. 2011. Распределение и сезонные миграции камбал Карагинского и Олюторского заливов // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Вып. 21. С. 73–100.
- Золотов А.О., Золотов О.Г., Спиринов И.Ю. 2015. Многолетняя динамика биомассы и современный промысел северного одноперого терпуга *Pleurogrammus monopterygius* в тихоокеанских водах Камчатки и Курильских островов // Известия ТИНРО. Т. 181. С. 3–22.
- Золотов А.О., Смирнов А.В., Баранчук-Червонный Л.Н., Дубинина А.Ю. 2014. Многолетняя динамика и современное состояние запасов желтоперой камбалы *Limanda aspera* в водах о. Сахалин // Известия ТИНРО. Т. 178. С. 25–57.
- Золотов А.О., Терентьев Д.А., Спиринов И.Ю. 2013. Состав и современное состояние сообщества демерсальных рыб Карагинского и Олюторского заливов // Известия ТИНРО. Т. 174. С. 85–103.
- Золотов А.О., Фатыхов Р.Н. 2016. Состояние запасов и особенности промысла южного одноперого терпуга *Pleurogrammus azonus* Jordan et Metz (1913) в водах южных Курильских островов // Известия ТИНРО. Т. 186. С. 61–80.
- Золотов О.Г. 1975. Распределение одноперого терпуга в прибрежных водах северных Курильских островов // Известия ТИНРО. Т. 97. С. 37–43.
- Золотов О.Г. 1981. О половом диморфизме у северного одноперого терпуга *Pleurogrammus monopterygius* // Вопросы ихтиологии. Т. 21, вып. 2. С. 253–257.
- Золотов О.Г. 1991. Распределение и дрейф икры и личинок минтая у западного побережья Камчатки // Исследования биологии и динамики численности промысловых рыб камчатского шельфа. Вып. 1, ч. 1. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. С. 167–182.
- Золотов О.Г., Орлов А.М. 2009. Роль подводных поднятий в структуре ареала северного одноперого терпуга // Рыбное хозяйство. Вып. 6. С. 53–56.
- Зорбиди Ж.Х. 2010. Кижуч азиатских стад. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО, 306 с.
- Ижевский Г.К. 1961. Океанологические основы формирования промысловой продуктивности морей: Монография. М.: Пищ. пром-ть. 216 с.
- Ижевский Г.К. 1964. Системная основа прогнозирования океанологических условий воспроизводства рыб. М.: ВНИРО. 165 с.
- 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. 62–74.
- Карпенко В.И. 1998. Ранний морской период жизни тихоокеанских лососей. М.: ВНИРО. 165 с.
- Качина Т.Ф. 1981. Сельдь западной части Берингова моря. М.: Лег. и пищ. пром-сть. 121 с.
- Качина Т.Ф., Балыкин П.А. 1981. Нерест минтая в западной части Берингова моря // Экология, запасы и промысел минтая. Владивосток: ТИНРО. С. 63–72.
- Ким Сен Ток, Бирюков И.А. 2009. Некоторые черты биологии и промысловые ресурсы донных и придонных видов рыб

- в шельфовых водах южных Курильских островов в 1987–2006 гг. Южно-Сахалинск: СахНИРО. 124 с.
- Ким Сен Ток. 2007. Современная структура и тенденции изменения ресурсов демерсальных рыб в западносахалинских водах // Известия ТИНРО. Т. 148. С. 35–56.
- Ким Сен Ток. 2013. Отличительные черты биологии и ресурсы трески северо-восточной части Японского моря (западное побережье о. Сахалин) // Тихоокеанская треска дальневосточных вод России / под. ред. А.М. Орлова. М.: ВНИРО. С. 81–106.
- Кляшторин Л.Б., Любушин А.А. 2005. Циклические изменения климата и рыбопродуктивности. М.: Изд-во ВНИРО. 235 с.
- Колесник Ю.А. 2002 а. Неравномерность вращения Земли и её влияние на природные процессы и динамику биосистем // Известия ТИНРО. Т. 130. С. 1283–1297.
- Колесник Ю.А. 2002 б. Исследование реакций биоты на многолетние изменения гелиогеофизических процессов: Автореф. дисс. ... докт. биол. наук. Владивосток: ДВГУ. 43 с.
- Кровнин А.С., Антонов Н.П., Котенев Б.Н., Мурый Г.П. 2017. Влияние климата на квазидекадные изменения численности поколений трески северо-западной части Берингова моря // Труды ВНИРО. Т. 169. С. 37–50.
- Кузнецов М.Ю., Басюк Е.О., Чульчиков Д.Н., Сыроваткин Е.В. 2013. Распределение и гидрологические условия обитания минтая в северо-западной части Берингова моря в летне-осенний период // Известия ТИНРО. Т. 174. С. 104–124.
- Кузнецова Н.А. 2007. Материалы по питанию молоди рыб в восточной части Берингова моря в 2003–2006 гг. // Известия ТИНРО. Т. 150. С. 226–247.
- Кулик В.В. 2007. Многолетняя динамика относительного обилия нектона и макропланктона в верхних слоях пелагиали Охотского моря // Известия ТИНРО. Т. 150. С. 56–85.
- Кулик В.В. 2009. Динамика обилия рыб и беспозвоночных в пелагиали Охотского моря в связи с гелиофизическими и климато-океанологическими факторами: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Владивосток: ТИНРО. 24 с.
- Кушинг Д.Х. 1979. Морская экология и рыболовство. М.: Пищевая пром-сть. 288 с.
- Лобода С.В., Жигалин А.Ю. 2017. Результаты исследований тихоокеанской сельди в северо-западной части Берингова моря в 2010–2015 гг. // Известия ТИНРО. Т. 188. С. 125–139.
- Лукьянова О.Н., Борисенко Г.С., Журавель Е.В., Черкашин С.А., Черняев А.П., Цыганков В.Ю. 2018. Экологическое состояние дальневосточных морей // Загрязнение морской среды: экологический мониторинг, биоиндикация, нормирование. Сб. статей Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвящ. 125-летию профессора В.А. Водяницкого, Севастополь, 28 мая – 1 июня 2018 г. Севастополь: «Колорит». С. 135–142.
- Лучин В.А. 2008. Термический режим вод дальневосточных морей (Японского, Охотского, Берингова): Автореф. дисс. ... докт. геогр. наук. Владивосток: ТОИ РАН. 48 с.
- Макоедов А.Н., Коротаев Ю.А., Антонов Н.П. 2009. Азиатская кета. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 356 с.
- Макрофауна пелагиали западной части Берингова моря: таблицы встречаемости, численности и биомассы, 1982–2009 гг. 2012. Владивосток: ТИНРО-Центр. 479 с.
- Максименков В.В. 2002. Питание и пищевые отношения молоди рыб, обитающих в эстуариях рек и побережье Камчатки: Автореф. дисс. ... докт. биол. наук. Владивосток: ТИНРО. 42 с.
- Малоземов О.Ю. 2016. Биоритмология. Екатеринбург: УГЛТУ. 144 с.
- Мельников И.В. 1996. Молодь южного одноперого терпуга *Pleurogrammus azonus* в эпипелагиали глубоководных районов дальневосточных морей. 1. Японское море // Вопросы ихтиологии. Т. 36, № 4. С. 463–469.
- Моисеев П.А. 1953. Треска и камбалы дальневосточных морей // Известия ТИНРО. Т. 40. 287 с.
- Мухачева В.А., Звягина О.А. 1960. Развитие тихоокеанской трески *Gadus morhua macrocephalus* Tilesius // Тр. ИОАН СССР. Т. 31. С. 145–165.
- Напасаков В.В. 2003. Питание и пищевые отношения рыб донных ихтиоценов западной части Берингова моря: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Владивосток: ДВГУ. 23 с.
- Науменко Н.И. 2001. Биология и промысел морских сельдей Дальнего Востока: Монография. Петропавловск-Камчатский: Камчатский печатный двор. 330 с.
- Николаев А.В., Степаненко М.А. 2001. Состояние ресурсов, особенности распределения восточноберинговоморской популяции минтая (*Theragra chalcogramma*) по результатам акустической съёмки летом 1999 г. // Известия ТИНРО. Т. 128. С. 188–206.
- Никольский Г.В. 2012. Теория динамики стада рыб как биологическая основа рациональной эксплуатации и воспроизводства рыбных ресурсов. Избранные труды, новое издание. Т. 1. М.: Изд-во ВНИРО. 465 с.
- Новикова О.В. 2007. Дальневосточная навага (*Eleginus gracilis* (Til.)) прикамчатских вод: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 23 с.
- Новикова О.В. 2014. Обзор промысла тихоокеанской наваги *Eleginus gracilis* (Til.) в дальневосточных морях // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Вып. 33. С. 38–48.
- Нуждин В.А. 1987. Распределение икры и личинок минтая в северо-западной части Японского моря // Популяционная структура, динамика численности и экология минтая. Владивосток: ТИНРО. С. 74–80.
- Нуждин В.А. 2008. Биология и состояние запасов минтая *Theragra chalcogramma* в водах Приморья: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Владивосток: ТИНРО-центр. 20 с.
- Овсянников Е.Е. 2011. Динамика пространственного распределения икры и молоди минтая в северной части Охотского моря: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Владивосток: ТИНРО-Центр. 20 с.
- Островский В.И. 2011. Факторы, определяющие численность покатной молоди горбуши (*Oncorhynchus gorbuscha*) р. Иска // Известия ТИНРО. Т. 166. С. 88–102.
- Островский В.И. 2014. Факторы, определяющие численность покатной молоди горбуши (*Oncorhynchus gorbuscha*) р. Мы // Известия ТИНРО. Т. 177. С. 156–166.
- Охотоморский минтай — 2018 (путинный прогноз). 2017. Владивосток: ТИНРО-Центр, 76 с.
- Патин С.А. 2008. Нефтяные разливы и их воздействие на морскую среду и биоресурсы. М.: Изд-во ВНИРО. 508 с.

- Перцева-Остроумова Т.А. 1961. Размножение и развитие дальневосточных камбал. М.: АН СССР. 484 с.
- Перцева-Остроумова Т.А. 1962. Особенности размножения и развития камбал, имеющих донные и пелагические икринки // Вопросы ихтиологии. Т. 5. С. 161–163.
- Пищальник В.М., Минервин И.Г., Трусков П.А. 2020. Оценка объёма льда Охотского моря по его возрастным характеристикам за период 2001–2019 гг. // Известия ТИНРО. Т. 200, вып. 2. С. 427–444.
- Пищальник В.М., Романюк В.А., Минервин И.Г., Батухтина А.С. 2016. Анализ динамики аномалий ледовитости Охотского моря в период с 1882 по 2015 гг. // Известия ТИНРО. Т. 185. С. 158–171.
- Плотников В.В., Вакульская Н.М. 2012. Изменчивость ледовых условий Берингова моря во второй половине XX – начале XXI века // Известия ТИНРО. Т. 170. С. 220–228.
- Плотников В.В., Вакульская Н.М., Дубина В.А. 2019. Изменчивость ледовых условий Берингова моря // Океанология. Т. 59, № 6. С. 920–927.
- Полтев Ю.Н., Мухаметов И.Н., Фатыхов Р.Н. 2012. О нересте тихоокеанской трески *Gadus macrocephallus* в водах к юго-востоку от острова Онекотан // Вопросы ихтиологии. Т. 52, № 6. С. 734–738.
- Полутов В.И. 1991. Темп полового созревания и плодовитость палтусовидной камбалы у восточного побережья Камчатки // Исследование биологии и динамики численности промысловых рыб камчатского шельфа. Вып. 1, ч. 2. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. С. 16–22.
- Пушников В.В. 1978. Пространственная структура минтая Охотского моря // Известия ТИНРО. Т. 102. С. 90–96.
- Пушников В.В. 1982. Популяционная структура минтая Охотского моря и состояние его запасов: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Владивосток. 23 с.
- Радченко В.И. 2015. Характеристика экосистемы Охотского моря по результатам моделирования // Труды ВНИРО. Т. 155. С. 79–111.
- Ростов И.Д., Рудых Н.И., Ростов В.И., Воронцов А.А. 2016. Тенденции климатических и антропогенных изменений морской среды прибрежных районов России в Японском море за последние десятилетия // Известия ТИНРО. Т. 186. С. 163–181.
- Савин А.Б. 2013. Распределение и миграции тихоокеанской трески в западной части Берингова моря, у побережья восточной Камчатки и в Охотском море // Тихоокеанская треска дальневосточных вод России / под ред. Орлова А.М. М.: Изд-во ВНИРО. С. 37–80.
- Сафронов С.Н. 1986. Тихоокеанская навага // Биологические ресурсы Тихого океана. М.: Наука. С. 201–212.
- Свирский В.Г., Иванов П.П. 1984. Выедание личинок сайры дальневосточной сардиной // Биология моря. № 4. С. 67–90.
- Серобаба И.И. 1968. Нерест минтая в северо-восточной части Берингова моря // Вопросы ихтиологии. Т. 8, вып. 6. С. 992–1003.
- Серобаба И.И. 1974. Экология нереста берингоморского минтая // Вопросы ихтиологии. Т. 14, вып. 4. С. 635–648.
- Смирнов А.А. 2014. Биология, распределение и состояние запасов гижигинско-камчатской сельди: Монография. Магадан: СВГУ. 170 с.
- Степаненко М.А. 2001 а. Состояние запасов, межгодовая изменчивость численности пополнения и промысловое использование минтая восточнберингоморской популяции в 80–90-е годы // Известия ТИНРО. Т. 128. С. 145–152.
- Степаненко М.А. 2001 б. Закономерности межгодовой изменчивости численности восточнберингоморской популяции минтая *Theragra chalcogramma* и её тенденции в конце 90-х годов // Известия ТИНРО. Т. 128. С. 136–144.
- Степаненко М.А., Грицай Е.В. 2016. Состояние ресурсов, пространственная дифференциация и воспроизводство минтая в северной и восточной частях Берингова моря // Известия ТИНРО. Т. 185. С. 16–30.
- Степаненко М.А., Николаев А.В. 2005. Состояние ресурсов восточнберингоморского минтая (*Theragra chalcogramma*) в начале 2000-х годов и управление его рыболовством // Вопросы рыболовства. Т. 6, № 2. С. 326–345.
- Тарасюк С.Н. 1997. Биология и динамика численности основных промысловых камбал Сахалина: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Владивосток. 24 с.
- Токранов А.М., Винников А.В. 1991. Особенности питания тихоокеанской трески и её место в трофической системе прибрежных вод Камчатки // Вопросы ихтиологии. Т. 31. С. 253–265.
- Трофимов И.К. 2010. О распределении наваги *Eleginus gracilis* на шельфе Карагинского и Олюторского заливов Берингова моря (по материалам донных траловых съёмок 1971–2006 гг.) // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Вып. 18. С. 58–70.
- Фадеев Н.С. 1971. Биология и промысел тихоокеанских камбал. Владивосток: Дальиздат. 100 с.
- Фадеев Н.С. 1981. Сроки размножения и нерестовых подходов минтая // Экология, запасы и промысел минтая. Владивосток: ТИНРО. С. 3–18.
- Фадеев Н.С. 1986. Берингово море // Биологические ресурсы Тихого океана. М.: Наука. С. 389–405.
- Фадеев Н.С. 1987. Нерестилища и сроки размножения минтая северной части Охотского моря // Популяционная структура, динамика численности и экология минтая. Владивосток: ТИНРО. С. 5–22.
- Фадеев Н.С. 1988. Распределение и миграции минтая в Беринговом море // Рыбное хозяйство. № 7. С. 46–47.
- Фадеев Н.С. 2005. Справочник по биологии и промыслу рыб северной части Тихого океана. Владивосток: ТИНРО-Центр. 366 с.
- Фадеев Н.С. 2009. Минтай Японского моря. Сроки и районы нереста, популяционный состав // Известия ТИНРО. Т. 159. С. 70–100.
- Фадеев Н.С., Веспеспад В. 2001. Обзор промысла минтая // Известия ТИНРО. Т. 128. С. 75–91.
- Фадеев Н.С., Смирнов А.В. 1987. Оценка численности икры и производителей минтая в северной части Охотского моря // Биология моря. № 4. С. 19–25.
- Фархутдинов Р.К. 2005. Экология воспроизводства, динамика численности и состояние запасов охотской сельди: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Хабаровск: ВНИИПРХ. 22 с.
- Фельдман М.Г., Шевляков Е.А. 2015. Выживаемость камчатской горбуши как результат совокупного воздействия плот-

- ностной регуляции и внешних факторов среды // Известия ТИНРО. Т. 182. С. 88–114.
- Фигуркин А.Л., Жигалов И.А., Ванин Н.С. 2008. Океанологические условия в Охотском море в начале 2000-х гг. // Известия ТИНРО. Т. 152. С. 240–252.
- Хен Г.В., Басюк Е.О., Зуенко Ю.И., Устинова Е.И., Фигуркин А.Л., Глебова С.Ю., Шатилина Т.А. 2009. Особенности гидрологических условий в дальневосточных морях в 2008–2009 гг. // Вопросы промысловой океанологии. Вып. 6, № 2. С. 22–47.
- Хен Г.В., Басюк Е.О., Сорокин Ю.Д., Устинова Е.И., Фигуркин А.Л. 2008. Термические условия на поверхности Берингова и Охотского морей в начале 21-го века на фоне полувекковой изменчивости // Известия ТИНРО. Т. 153. С. 254–263.
- Чернявский Ф.Б. 1984. Млекопитающие крайнего северо-востока Сибири. М.: Наука. 388 с.
- Чернявский Ф.Б. 2007. Исследования популяционных циклов леммингов и лесных полёвок в восточном секторе Субарктики // Вестник СВНЦ ДВО РАН. Вып. 3. С. 28–33.
- Четвергов А.В. 2002. Половое созревание западнокамчатских камбал // Известия ТИНРО. Т. 130, ч. 3. С. 940–953.
- Чучукало В.И. 2006. Питание и пищевые отношения nekтона и nekтобентоса в дальневосточных морях. Владивосток: ТИНРО-Центр. 484 с.
- Шварц С.С. 1969. Эволюционная экология животных: экологические механизмы эволюционного процесса. Свердловск. 197 с.
- Шевченко В.В., Датский А.В. 2014. Биоэкономика использования промысловых ресурсов минтая Северной Пацифики. Опыт российских и американских рыбопромышленников. М.: ВНИРО. 212 с.
- Шунтов В.П. 2001. Биология дальневосточных морей России. Владивосток: ТИНРО-центр. Т. 1. 580 с.
- Шунтов В.П. 2016. Биология дальневосточных морей России. Владивосток: ТИНРО. Т. 2. 604 с.
- Шунтов В.П., Волков А.Ф., Темных О.С., Дулепова Е.П. 1993. Минтай в экосистемах дальневосточных морей. Владивосток: ТИНРО. 426 с.
- Шунтов В.П., Иванов О.А. 2019. Климатические изменения и современное состояние биоты российских вод дальневосточных морей // Известия ТИНРО. Т. 197. С. 83–107.
- Шунтов В.П., Иванов О.А. 2021. «Неверная рыба» или неверные гипотезы: что происходит с nekтоном прикурильских океанических вод? // Известия ТИНРО. Т. 201. Вып. 1. С. 3–23.
- Шунтов В.П., Темных О.С. 2008. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах. Владивосток: ТИНРО-Центр. Т. 1. 481 с.
- Шунтов В.П., Темных О.С. 2011. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах. Владивосток: ТИНРО-Центр. Т. 2. 473 с.
- Язев С.А., Леви К.Г., Задонина Н.В. 2009. Глобальное потепление и вопросы научной методологии // Известия Иркутского ун-та. Серия «Науки о Земле». Т. 1, № 1. С. 198–213.
- Albanese D., Filosi M., Visintainer R., Riccadonna S., Jurman G., Furlanello C. 2012. Minerva and minepy: a C engine for the MINE suite and its R, Python and MATLAB wrappers // Bioinformatics. V. 29, Is. 3. Pp. 406–407.
- Datsky A.V., Kulik V.V., Datskaya S.A. 2021. Maximal information coefficients between some abiotic factors and fish stocks in the north-west Pacific, Mendeley Data, v4, doi: 10.17632/d5hy9smz5p.4. Accessible via: <https://data.mendeley.com/datasets/d5hy9smz5p/4>.
- Hastie T., Tibshirani R. 1990. Generalized Additive Models. London: Chapman & Hall. 467 p.
- Hinckley S. 1987. The reproductive biology of walleye pollock, *Theragra chalcogramma*, in the Bering Sea, with reference to spawning stock structure // Fish. Bull. V. 85, № 3, pp. 481–498.
- Ianelli J.N., Honkalehto T., Barbeaux S., Kotwicki S., Aydin K., Williamson N. 2013. Assessment of the walleye pollock stock in the Eastern Bering Sea. Accessible via: <http://www.afsc.noaa.gov/REFM/docs/2013/EBSpollock.pdf>.
- Ianelli J.N., Kotwicki S., Honkalehto T., McCarthy A., Stienessen S., Holsman K. 2018. Chapter 1: Assessment of the walleye pollock stock in the Easter Bering Sea. Accessible via: <https://www.afsc.noaa.gov/REFM/docs/2018/BSA1/2018EBSpollock.pdf>.
- Kinney J.B., Atwal G.S. 2014. Equitability, mutual information, and the maximal information coefficient // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 111(9): 3354–3359.
- Large S.I., Fay G., Friedland K.D., Link J.S. 2015. Critical points in ecosystem responses to fishing and environmental pressures // Mar. Ecol. Prog. Ser. V. 521. Pp. 1–17.
- McArthur R.H., Wilson E.O. 1967. The theory of island biogeography. Princeton (NJ): Princeton Univ. Press. 203 p.
- NPAFC. Доступно через: http://www.npafc.org/new/science_statistics.html. 09.09.2021.
- Okada K. 1986. Biological characteristics and abundance of pelagic pollock in the Aleutian Basin // Bull. INPFC. № 45. Pp. 150–176.
- Ormseth O.A. 2019. Status of forage species in the Bering Sea and Aleutian Islands region // Alaska Fisheries Science Center. Pp. 1–46. Accessible via: <https://apps-afsc.fisheries.noaa.gov/refm/docs/2019/BSA1forage.pdf>.
- Reshef D.N., Reshef Y.A., Mitzenmacher M., Sabeti P.C. 2014. Cleaning up the record on the maximal information coefficient and equitability // Proc. Natl. Acad. Sci. V. 111, № 33. Pp. 3362–3363.
- Reshef D.N., Reshef Y.A., Finucane H.K., Grossman S.R., McVean G., Turnbaugh P.J., Lander E.S., Mitzenmacher M., Sabeti P.C. 2011. Detecting novel associations in large data sets // Science. V. 334, № 6062, pp. 1518–1524.
- Sakamoto Y., Ishiguro M., Kitagawa G. 1986. Akaike Information Criterion Statistics. D. Reidel Publishing Company. Tokyo, Dordrecht etc. 290 p.
- Siddon E., Zador S. 2017. Status of the Eastern Bering Sea Marine Ecosystem. Ecosystem Considerations 2017 // North Pacific Fishery Management Council. Anchorage, AK. pp. 1–229. Accessible via: <https://www.afsc.noaa.gov/REFM/Docs/2017/ecosysEBS.pdf>.
- Stepanenko M.A. 1989. The state of stocks and distribution of pollock in the Bering Sea // Proc. Intern. Symp. Biol. Managem. Walleye Pollock, Nov. 1988. Fairbanks, Alaska. Pp. 537–547.
- Vasilets P.M. 2015. FMS analyst — computer program for processing data from Russian Fishery Monitoring System. doi:10.13140/RG.2.1.5186.0962.

- Vinnikov A.V. 1996. Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) of the Western Bering Sea // Ecology of Bering Sea: a review of Russian literature (Mathisen O.A., Coyle K.O., eds.). Alaska Sea Grant Report № 96–01. Fairbanks: University of Alaska. Pp. 183–202.
- Wood S.N. 2003. Thin plate regression splines // J.R. Stat. Soc. Ser. B (Statistical Methodol). V. 65, № 1, pp. 95–114.
- Wood S.N. 2011. Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models // J.R. Stat. Soc. Ser. B (Statistical Methodol). V. 73, № 1, pp. 3–36.
- Wood S.N., Shaw S., Goude Y. 2015. Generalized additive models for large data sets // J.R. Stat. Soc. Ser. C (Applied Stat.). V. 64, № 1, pp. 139–155.
- REFERENCES**
- Abdusamatov Kh.I. 2012. A two-century decrease in the solar constant leads to an unbalanced thermal budget of the Earth and a deep cooling of the climate // Kinematics and Physics of Celestial Bodies. V. 28, № 2. P. 22–33. (In Russ.).
- Antonov N.P. 1991. Biology and population dynamics of the East Kamchatka pollock: Author's abstract. diss. ... cand. biol. sciences. Vladivostok: TINRO. 23 p. (In Russ.).
- Antonov N.P. 2011. Commercial fish of the Kamchatka territory: biology, stocks, fishing. M.: VNIRO. 244 p. (In Russ.).
- Antonov N.P. 2013. Cod *Gadus macrocephalus* of the Kamchatka waters // Pacific cod of the Far Eastern waters of Russia / Ed. A.M. Orlov. M.: VNIRO Publishing house. P. 133–151. (In Russ.).
- Antonov N.P., Datsky A.V. 2019. Use of the raw material base of marine fish in the Far Eastern fishery basin in 2018 // Fisheries. № 3. P. 66–76. (In Russ.).
- Antonov N.P., Datsky A.V., Maznikova O.A., Mitenkova L.V. 2016. The current state of the Pacific herring fishery in the Far Eastern seas // Fish industry. № 1. P. 54–58. (In Russ.).
- Antonov N.P., Zolotov O.G. 1987. Peculiarities of reproduction of the East Kamchatka pollock // Population structure, population dynamics and ecology of Alaska pollock. Vladivostok: TINRO. P. 123–132. (In Russ.).
- Antonov N.P., Kuznetsova E.N. 2018. The current state of the use of the raw material base of the Far Eastern flounder // Fish industry. № 5. P. 56–61. (In Russ.).
- Atlas of distribution in the sea of various stocks of Pacific salmon during spring-summer feeding and pre-spawning migrations. 2002. M.: VNIRO. 190 p. (In Russ.).
- Babayan V.K. 2000. A precautionary approach to estimating total allowable catch (TAC). Analysis and recommendations for use. M.: Publishing house VNIRO. 190 p. (In Russ.).
- Babayan V.K., Vasiliev D.A., Varkentin A.I., Sergeeva N.P. 2006. Methodological features of substantiating the TAC for pollock in conditions of uncertainty // Trudy VNIRO. V. 146. P. 13–37. (In Russ.).
- Balykin P.A. 1993. Variation in the timing of spawning and mortality of developing eggs in the West Bering Sea pollock (*Theragra chalcogramma* (Pallas)) // Study of the biology and dynamics of the number of commercial fish on the Kamchatka shelf. Is. 2. Petropavlovsk-Kamchatsky: KOTINRO. P. 166–176. (In Russ.).
- Balykin P.A. 2006. Ichthyocenes of the western part of the Bering Sea: composition, commercial significance and state of stocks: Author's abstract. diss. ... doct. biol. sciences. M.: VNIRO. 50 p. (In Russ.).
- Balykin P.A., Varkentin A.I. 2002. Distribution of eggs, larvae and underyearlings of pollock *Theragra chalcogramma* (Gadidae) in the northwestern part of the Bering Sea // Voprosy ichthyology. V. 42, № 6. P. 798–805. (In Russ.).
- Balykin P.A., Zolotov A.O. 2010. Interspecific relations of aquatic organisms as a factor of population dynamics // Studies of aquatic biological resources of Kamchatka and the northwestern part of the Pacific Ocean. Is. 17. P. 24–29. (In Russ.).
- Bering Sea Alaska pollock fishery time. 2017 (Fishery time's forecast). 2017. Vladivostok: TINRO-Center. 71 p. (In Russ.).
- Borets L.A. 1997. Bottom ichthyocenes of the Russian shelf of the Far Eastern seas: composition, structure, functioning elements and commercial significance. Vladivostok: TINRO-Center. 217 p. (In Russ.).
- Borets L.A., Stepanenko M.A., Nikolaev A.V., Gritsay E.V. 2002. The state of pollock stocks in the Navarin district of the Bering Sea and the reasons determining the effectiveness of its fishing // Izvestiya TINRO. V. 130, part III. P. 1001–1014. (In Russ.).
- Breus T.K. 2003. Influence of solar activity on biological objects: Author's abstract. diss. ... doct. phys.-mat. sciences. M.: IKI RAN. 32 p. (In Russ.).
- Bugaev V.F. 2011. Asiatic sockeye salmon-2 (biological structure and dynamics of the number of local herds in the late XX – early XXI centuries). Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress Publishing House. 380 p. (In Russ.).
- Bugaev V.F., Vronsky B.B., Zavarina L.O., Zorbidi Zh. Kh., Ostroumov A.G., Tiller I.V. 2007. Fish of the Kamchatka river. Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO Publishing House. 459 p. (In Russ.).
- Bulatov O.A. 1986. Distribution of eggs and larvae of cod (subfamily Gadinae) in the Pacific waters of Kamchatka and the western part of the Bering Sea // Far Eastern Codfish. Vladivostok: TINRO. P. 89–102. (In Russ.).
- Bulatov O.A. 1987. Pollock roe and larvae in the eastern part of the Bering Sea // Population structure, population dynamics and ecology of pollock. Vladivostok: TINRO. P. 100–114. (In Russ.).
- Bulatov O.A. 2004. Pollock (*Theragra chalcogramma*) of the Bering Sea: reproduction, stocks and fishery management strategy: Author's abstract. diss. ... doct. biol. sciences. M.: VNIRO. 49 p. (In Russ.).
- Bulatov O.A. 2014. Pollock fishery and stocks: is turbulence possible? // Voprosy rybolovstva. V. 15, № 4. P. 350–390. (In Russ.).
- Bulatov O.A. 2017. Vertical distribution of pollock roe and larvae // Voprosy rybolovstva. V. 18, № 3. P. 269–285. (In Russ.).
- Buslov A.V. 2001. New data on the distribution and migrations of pollock in the Pacific waters of the northern Kuril Islands and southeastern Kamchatka // Izvestia TINRO. V. 128. P. 229–241. (In Russ.).
- Buslov A.V. 2008. Pollock on the eastern coast of Kamchatka: current state of reserves and recommendations for rational exploitation // Izvestiya TINRO. V. 152. P. 3–17. (In Russ.).

- Buslov A.V., Tepnin O.B. 2002. Conditions for spawning and embryogenesis of pollock *Theragra chalcogramma* (Gadidae) in the deep-water canyons of the Pacific coast of Kamchatka // *Voprosy ichtiologii*. V. 42, № 5. P. 617–625. (In Russ.).
- Buslov A.V., Tepnin O.B., Dubinina A. Yu. 2004. Some features of the spawning ecology and embryogenesis of the Eastern Kamchatka pollock // *Izvestia TINRO*. V. 138. P. 282–298. (In Russ.).
- Varkentin A.I. 2015. New data on the timing of mass spawning of pollock (*Theragra chalcogramma*) in Western Kamchatka // *Studies of aquatic biological resources of Kamchatka and the northwestern Pacific Ocean*. Is. 39. P. 70–74. (In Russ.).
- Vdovin A.N., Chetlebotzky A.N., Nuzhdin V.V. 2017. Dynamics of the number of the seaside pollock *Theragra chalcogramma* (Pallas, 1814) (Gadiformes: Gadidae) in the Sea of Japan // *Marine Biology*. V. 43, № 5. P. 321–328. (In Russ.).
- Vershinin V.G. 1984. Biology and fishing of cod in the Northwestern Pacific Ocean: Author's abstract. diss. ... cand. biol. sciences. Vladivostok: DVNTS AS USSR. 21 p. (In Russ.).
- Vershinin V.G. 1987. About biology and the current state of cod stocks in the northern part of the Bering Sea // *Biological resources of the Arctic and Antarctic*. M.: Nauka. P. 207–224. (In Russ.).
- Vinnikov A.V. 2008. Pacific cod of Western Kamchatka: biology, population dynamics, fishing: Author's abstract. diss. ... cand. biol. sciences. Vladivostok: IBM FEB RAS. 24 p. (In Russ.).
- Volvenko I.V. 2014. Comparison of the Far Eastern seas and the Northwestern Pacific Ocean by integral characteristics of the trawl macrofauna of pelagial and bottom // *Izvestia TINRO*. V. 178. P. 58–67. (In Russ.).
- Volkov A.F. 2014. The state of the feeding base of Pacific salmon in the Bering Sea in 2003–2012 (based on the results of the international expeditions BASIS-1 and 2) // *Izvestiya TINRO*. V. 179. P. 250–271. (In Russ.).
- Vyshegorodtsev V.A. 1987. On the Is. of reproductive isolation of the North Okhotsk pollock population // *Population composition, population dynamics and ecology of pollock*. Vladivostok: TINRO. P. 39–47. (In Russ.).
- Glubokov A.I., Alekseev D.O., Bizikov V.A. 2000. On the cannibalism of pollock in the north-western part of the Bering Sea at the end of the 90s // *Voprosy rybolovstva*. V. 1, № 4. P. 91–97. (In Russ.).
- Gorbatenko K.M. 2018. Trophodynamics of hydrobionts in the Sea of Okhotsk: Author's abstract. diss. ... doct. biol. sciences. Vladivostok: TINRO. 47 p. (In Russ.).
- Gorbunova N.N. 1954. Reproduction and development of pollock // *Trudy IO AS USSR*. V. 11. P. 132–195. (In Russ.).
- Gorbunova N.N. 1959. On the reproduction of the southern one-legged terpug // *Izvestiya TINRO*. V. 47. P. 145–153. (In Russ.).
- Gritsay E.V. 2006. Variability of the size-age composition of Alaska pollock on the East and North Bering Sea shelf // *Izvestiya TINRO*. T. 146. S. 84–102. (In Russ.).
- Gritsay E.V., Sheibak A.Yu. 2009. Analysis of the fishery and dynamics of the size-age composition of pollock in the Anadyr-Navarin region in 2003–2008 // *Izvestiya TINRO*. T. 158. S. 158–186. (In Russ.).
- Gudkovich Z.M., Karklin V.P., Mironov E. Yu., Ivanov V.V., Losev S.M., Dymant L.N., Smolyanitsky V.M., Frolov S.V., Yulin A.V., Usoltseva E.A. 2013. The development of ice and meteorological conditions in the Arctic in the period 2007–2013 // *Problems of the Arctic and Antarctica*. № 2 (96). P. 90–102. (In Russ.).
- Datsky A.V. 2004. Reproduction of pollock *Theragra chalcogramma* (Gadidae) in the Anadyr Bay // *Voprosy rybolovstva*. V. 5, № 4(20). P. 597–617. (In Russ.).
- Datsky A.V., Andronov P. Yu. 2007. Ichthyocene of the upper shelf of the northwestern part of the Bering Sea. Magadan: SVNTS FEB RAS. 261 p. (In Russ.).
- Dementieva T.F. 1961. The importance of the decisive factor in the light of annual and long-term fluctuations in the number of populations. Proceedings of the meeting on the dynamics of the number of fish. M.: RAS Publishing House. Is. 13. P. 34–43. (In Russ.).
- Dynamics of ecosystems of the Bering and Chukchi Seas*. 2000. M.: Nauka. 357 p. (In Russ.).
- Dudnik Yu.I., Zolotov O.G. 2000. Distribution, features of biology and fishing of one-finned greenplants of the genus *Pleuragrammus* (Hexagrammidae) in the waters near the Kuril Islands // *Commercial and biological studies of fish in the Pacific waters of the Kuril Islands and adjacent areas of the Okhotsk and Bering Seas in 1992–1998*. M.: VNIRO Publishing House. P. 78–90. (In Russ.).
- Dumanskaya I.O. 2017. Ice conditions of the seas of the Asian part of Russia. M.; Obninsk: IG-SOCIN. 640 p. (In Russ.).
- Dyakov B.S. 2010. Regularities of the development of hydrometeorological conditions of the Sea of Japan in 1950–2009 and the forecast of water temperature // *Voprosy promyslovoj okeanologii*. Is. 7. № 2. P. 102–108. (In Russ.).
- Dyakov Yu.P. 2011. Flatfish (Pleuronectiformes) of the Far Eastern seas of Russia (spatial organization of fauna, seasons and duration of spawning, population structure of the species, population dynamics). Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIIRO Publish. 433 p. (In Russ.).
- Zherebtsov G.A., Kovalenko V.A., Molodykh S.I., Kirichenko K.E. 2013. The influence of solar activity on the temperature of the troposphere and the ocean surface // *News of the Irkutsk State University. Series "Earth Sciences"*. V. 6, № 1. P. 61–79. (In Russ.).
- Zverkova L.M. 1969. About pollock spawning in the waters of the western coast of Kamchatka // *Voprosy ikhtiologii*. V. 9, Is. 2. P. 270–275. (In Russ.).
- Zverkova L.M. 1971. Pollock breeding off the southwestern coast of Sakhalin // *Izvestia TINRO*. V. 76. P. 62–75. (In Russ.).
- Zverkova L.M. 1977. Maturation, fertility and breeding areas of pollock *Theragra chalcogramma* (Pallas) in the northeastern part of the Sea of Japan // *Voprosy ikhtiologii*. V. 17, Is. 3. P. 462–468. (In Russ.).
- Zverkova L.M. 1981. Intraspecific structure of pollock in the Sea of Okhotsk // *Ecology, stocks and fishing of pollock*. Vladivostok: TINRO. P. 41–56. (In Russ.).
- Zverkova L.M. 1987. Spatial and temporal structure of the pollock reproduction area *Theragra chalcogramma* (Gadidae) in the northern part of the Sea of Okhotsk // *Voprosy ikhtiologii*. V. 27, Is. 3. P. 414–420. (In Russ.).
- Zverkova L.M., Pushnikov V.V. 1980. Distribution of pelagic pollock caviar in the Sea of Okhotsk // *Fishery studies of*

- temperate waters of the Pacific Ocean. Vladivostok. P. 117–123. (In Russ.).
- Zolotov A.O. 2008. The use of trawl surveys to estimate the number of flounders in the Karaginsky and Olyutorsky bays: methodology and results // Studies of aquatic biological resources of Kamchatka and the northwestern Pacific Ocean. V. 13. P. 51–58. (In Russ.).
- Zolotov A.O. 2009. Modeling of the optimal fishing regime for yellowfin sole of the western part of the Bering Sea // Studies of aquatic biological resources of Kamchatka and the northwestern Pacific Ocean. Is. 11. P. 100–104. (In Russ.).
- Zolotov A.O. 2011. Distribution and seasonal migrations of flounders of the Karaginsky and Olyutorsky gulfs // Studies of aquatic biological resources of Kamchatka and the north-western part of the Pacific Ocean. Is. 21. P. 73–100. (In Russ.).
- Zolotov A.O., Zolotov O.G., Spirin I. Yu. 2015. The long-term dynamics of biomass and the modern fishery for Atka mackerel in the Pacific waters of Kamchatka and the Kuril Islands // Izvestiya TINRO. V. 181. P. 3–22. (In Russ.).
- Zolotov A.O., Smirnov A.V., Baranchuk-Chervonny L.N., Dubinina A. Yu. 2014. Long-term dynamics and current state of the stock of yellowfin sole in the waters of Sakhalin Island // Izvestiya TINRO. V. 178. P. 25–57. (In Russ.).
- Zolotov A.O., Terentyev D.A., Spirin I. Yu. 2013. The composition and current state of the demersal fish community of the Karaginsky and Olyutorsky bays // Izvestiya TINRO. V. 174. P. 85–103. (In Russ.).
- Zolotov A.O., Fatykhov R.N. 2016. Status of stocks and fishing features Okhotsk atka mackerel Jordan et Metz (1913) in the waters of the southern Kuril Islands // Izvestiya TINRO. V. 186. P. 61–80. (In Russ.).
- Zolotov O.G. 1975. Distribution of the Atka mackerel in the coastal waters of the northern Kuril Islands // Izvestiya TINRO. V. 97. P. 37–43. (In Russ.).
- Zolotov O.G. 1981. Sexual dimorphism in the Atka mackerel *Pleurogrammus monopterygius* // Voprosy ikhtiologii. V. 21, Is. 2. P. 253–257. (In Russ.).
- Zolotov O.G. 1991. Distribution and drift of pollock eggs and larvae off the western coast of Kamchatka // Investigation of biology and population dynamics of commercial fish of the Kamchatka shelf. Is. 1, part 1. Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO. P. 167–182. (In Russ.).
- Zolotov O.G., Orlov A.M. 2009. The role of submarine uplifts in the structure of the range of the Atka mackerel // Fisheries. V. 6. P. 53–56. (In Russ.).
- Zorbidi J.H. 2010. Coho salmon Asian stud. Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, 306 p.
- Izhevsky G.K. 1961. Oceanological foundations of the formation of commercial productivity of the seas: Monograph. M.: Food. prom. 216 p. (In Russ.).
- Izhevsky G.K. 1964. The system basis for forecasting oceanological conditions of fish reproduction. M.: VNIRO. 165 p. (In Russ.).
- Ilyin O.I., Sergeeva N.P., Varkentin A.I. 2014. Stock assessment and forecasting of the TAC of the East Kamchatka pollock (*Theragra chalcogramma*) based on a precautionary approach // Trudy VNIRO. V. 151. P. 62–74. (In Russ.).
- Karpenko V.I. 1998. The early marine life of Pacific salmon. M.: VNIRO. 165 p. (In Russ.).
- Kachina T.F. 1981. Herring of the western part of the Bering Sea. M.: Leg. and food. prom-st. 121 p. (In Russ.).
- Kachina T.F., Balykin P.A. 1981. Pollock spawning in the western part of the Bering Sea // Ecology, stocks and fishing of pollock. Vladivostok: TINRO. pp. 63–72. (In Russ.).
- Kim Sen Tok, Biryukov I.A. 2009. Some features of biology and commercial resources of bottom and bottom fish species in the shelf waters of the Southern Kuril Islands in 1987–2006. Yuzhno-Sakhalinsk: SakhNIRO. 124 p. (In Russ.).
- Kim Sen Tok. 2007. The modern structure and trends in the resources of demersal fish in the Western Sakhalin waters // Izvestiya TINRO. V. 148. P. 35–56. (In Russ.).
- Kim Sen Tok. 2013. Distinctive features of the biology and resources of cod in the northeastern part of the Sea of Japan (the west coast of Sakhalin) // Pacific cod of the Far Eastern waters of Russia / edited by A.M. Orlov. M.: VNIRO. P. 81–106. (In Russ.).
- Klyashtorin L.B., Lyubushin A.A. 2005. Cyclical changes in climate and fish productivity. M.: VNIRO Publishing House. 235 p. (In Russ.).
- Kolesnik Yu.A. 2002 a. The unevenness of the Earth's rotation and its influence on natural processes and dynamics of biosystems // Izvestiya TINRO. T. 130. P. 1283–1297. (In Russ.).
- Kolesnik Yu.A. 2002 b. Investigation of biota reactions to long-term changes in heliogeophysical processes: Author's abstract. diss. ... doct. biol. sciences. Vladivostok: DVSU. 43 p. (In Russ.).
- Krovnin A.S., Antonov N.P., Kotenev B.N., Muriy G.P. 2017. The influence of climate on quasi-decadal changes in the number of generations of cod in the north-western part of the Bering Sea // Trudy VNIRO. V. 169. P. 37–50. (In Russ.).
- Kuznetsov M. Yu., Basyuk E.O., Chulchekov D.N., Syrovatkin E.V. 2013. Distribution and hydrological conditions of pollock habitat in the north-western part of the Bering Sea in the summer-autumn period // Izvestiya TINRO. V. 174. P. 104–124. (In Russ.).
- Kuznetsova N.A. 2007. Materials on the nutrition of juvenile fish in the eastern part of the Bering Sea in 2003–2006 // Izvestiya TINRO. V. 150. P. 226–247. (In Russ.).
- Kulik V.V. 2007. Long-term dynamics of the relative abundance of neuston and macroplankton in the upper layers of the pelagial of the Sea of Okhotsk // Izvestiya TINRO. V. 150. P. 56–85. (In Russ.).
- Kulik V.V. 2009. Dynamics of abundance of fish and invertebrates in the pelagial of the Sea of Okhotsk in connection with heliophysical and climatic-oceanological factors: Author's abstract. diss. ... cand. biol. sciences. Vladivostok: TINRO. 24 p. (In Russ.).
- Cushing D.H. 1979. Marine ecology and fisheries. M.: Food industry. 288 p. (In Russ.).
- Loboda S.V., Zhigalin A. Yu. 2017. Results of studies of Pacific herring in the northwestern part of the Bering Sea in 2010–2015 // Izvestiya TINRO. V. 188. P. 125–139. (In Russ.).
- Lukyanova O.N., Borisenko G.S., Zhuravel E.V., Cherkashin S.A., Chernyaev A.P., Tsygankov V. Yu. 2018. Ecological state of the Far Eastern seas // Marine pollution: ecological

- monitoring, bioindication, rationing. Collection of articles of the All-Russian Scientific Conference with the international participation, dedication. 125th anniversary of Professor V.A. Vodyanitsky, Sevastopol, May 28 – June 1, 2018 Sevastopol: "Color". P. 135–142. (In Russ.).
- Luchin V.A. 2008. Thermal regime of the waters of the Far Eastern seas (Japanese, Okhotsk, Bering): Author's abstract. diss. ...doc. geogr. sciences. Vladivostok: TOI RAS. 48 p. (In Russ.).
- Makoedov A.N., Korotaev Yu.A., Antonov N.P. 2009. Asian chum salmon. Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO. 356 p. (In Russ.).
- Macrofauna of the pelagial of the western part of the Bering Sea: tables of occurrence, abundance and biomass, 1982–2009, 2012. Vladivostok: TINRO Center. 479 p. (In Russ.).
- Maksimenkov V.V. 2002. Nutrition and nutritional relations of juvenile fish living in estuaries of rivers and the coast of Kamchatka: Author's abstract. diss. ... doct. biol. sciences. Vladivostok: TINRO. 42 p. (In Russ.).
- Malozemov O. Yu. 2016. Biorhythmology. Yekaterinburg: UGLTU. 144 p. (In Russ.).
- Melnikov I.V. 1996. Juveniles of the Okhotsk Atka mackerel *Pleurogrammus azonus* in the epipelagic zone of the deep-water regions of the Far Eastern seas. 1. Sea of Japan // *Voprosy ikhtiologii*. V. 36, № 4. P. 463–469. (In Russ.).
- Moiseev P.A. 1953. Cod and flounders of the Far Eastern seas // *Izvestia TINRO*. V. 40. 287 p. (In Russ.).
- Mukhacheva V.A., Zvyagina O.A. 1960. The development of the Pacific cod *Gadus morhua macrocephalus* Tilesius // *Tr. IO AS USSR*. V. 31. P. 145–165. (In Russ.).
- Napazakov V.V. 2003. Nutrition and food relations of fish of the bottom ichthyofauna of the western part of the Bering Sea: Author's abstract. diss. ... cand. biol. sciences. Vladivostok: DVSU. 23 p. (In Russ.).
- Naumenko N.I. 2001. Biology and fishing of marine herring of the Far East: Monograph. Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatka Printing Yard. 330 p. (In Russ.).
- Nikolaev A.V., Stepanenko M.A. 2001. The state of resources, distribution characteristics of the East Bering Sea walleye pollock population according to the results of acoustic surveys in the summer of 1999 // *Izvestiya TINRO*. V. 128. P. 188–206. (In Russ.).
- Nikolsky G.V. 2012. Theory of fish herd dynamics as a biological basis for rational exploitation and reproduction of fish resources. Selected works, new edition. V. 1. M.: VNIRO Publishing House. 465 p. (In Russ.).
- Novikova O.V. 2007. Saffron cod in the Kamchatka waters: Author's abstract. diss. ... cand. biol. sciences. Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO. 23 p. (In Russ.).
- Novikova O.V. 2014. Overview of the Saffron cod fishery in the Far Eastern seas // *Studies of aquatic biological resources of Kamchatka and the northwestern Pacific Ocean*. Is. 33. P. 38–48. (In Russ.).
- Nuzhdin V.A. 1987. Distribution of pollock eggs and larvae in the north-western part of the Sea of Japan // *Population structure, population dynamics and ecology of pollock*. Vladivostok: TINRO. P. 74–80. (In Russ.).
- Nuzhdin V.A. 2008. Biology and state of pollock stocks *Theragra chalcogramma* in the waters of Primorye: Author's abstract. diss. ... cand. biol. sciences. Vladivostok: TINRO Center. 20 p. (In Russ.).
- Ovsyannikov E.E. 2011. Dynamics of spatial distribution of pollock eggs and juveniles in the northern part of the Sea of Okhotsk: Author's abstract. diss. ... cand. biol. sciences. Vladivostok: TINRO Center. 20 p. (In Russ.).
- Ostrovsky V.I. 2011. Factors determining the abundance of downstream juvenile pink salmon of the Iska river // *Izvestia TINRO*. V. 166. P. 88–102. (In Russ.).
- Ostrovsky V.I. 2014. Factors determining the number of downstream juveniles of the pink salmon of the river We // *Izvestia TINRO*. V. 177. P. 156–166. (In Russ.).
- Okhotsk Sea pollock – 2018 (Fishery time's forecast). 2017. Vladivostok: TINRO-Center, 76 p. (In Russ.).
- Patin S.A. 2008. Oil spills and their impact on the marine environment and bioresources. M.: VNIRO Publish. 508 p. (In Russ.).
- Pertseva-Ostroumova T.A. 1961. Reproduction and development of Far Eastern flounders. M.: AS USSR. 484 p. (In Russ.).
- Pertseva-Ostroumova T.A. 1962. Features of reproduction and development of flounders with bottom and pelagic eggs // *Voprosy ikhtiologii*. V. 5. P. 161–163. (In Russ.).
- Pischalnik V.M., Minervin I.G., Truskov P.A. 2020. Estimation of the ice volume of the Sea of Okhotsk by its age characteristics for the period 2001–2019 // *Izvestiya TINRO*. V. 200, Is. 2. P. 427–444. (In Russ.).
- Pishchalnik V.M., Romanyuk V.A., Minervin I.G., Batukhtina A.S. 2016. Analysis of the dynamics of anomalies of the ice cover of the Sea of Okhotsk in the period from 1882 to 2015 // *Izvestiya TINRO*. V. 185. P. 158–171. (In Russ.).
- Plotnikov V.V., Vakulskaya N.M. 2012. Variability of ice conditions of the Bering Sea in the second half of the XX – beginning of the XXI century // *Izvestia TINRO*. T. 170. P. 220–228. (In Russ.).
- Plotnikov V.V., Vakulskaya N.M., Dubina V.A. 2019. Variability of ice conditions of the Bering Sea // *Oceanology*. V. 59, № 6. P. 920–927. (In Russ.).
- Poltev Yu.N., Mukhametov I.N., Fatykhov R.N. 2012. About spawning of Pacific cod *Gadus macrocephalus* in the waters southeast of Onkotan Island // *Voprosy ikhtiologii*. V. 52, № 6. P. 734–738. (In Russ.).
- Polutov V.I. 1991. The rate of puberty and fertility of halibut flounder off the eastern coast of Kamchatka // *Study of biology and population dynamics of commercial fish of the Kamchatka shelf*. Is. 1, part 2. Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO. P. 16–22. (In Russ.).
- Pushnikov V.V. 1978. Spatial structure of pollock of the Sea of Okhotsk // *Izvestiya TINRO*. T. 102. P. 90–96. (In Russ.).
- Pushnikov V.V. 1982. The population structure of pollock of the Sea of Okhotsk and the state of its reserves: Author's abstract. diss. ... cand. biol. sciences. Vladivostok. 23 p. (In Russ.).
- Radchenko V.I. 2015. Characteristics of the ecosystem of the Sea of Okhotsk based on the results of modeling // *Trudy VNIRO*. V. 155. P. 79–111. (In Russ.).
- Rostov I.D., Rudykh N.I., Rostov V.I., Vorontsov A.A. 2016. Trends of climatic and anthropogenic changes in the marine environment of the coastal regions of Russia in the Sea

- of Japan over the past decades // *Izvestia TINRO*. V. 186. P. 163–181. (In Russ.).
- Savin A.B. 2013. Distribution and migration of Pacific cod in the western part of the Bering Sea, off the coast of eastern Kamchatka and in the Sea of Okhotsk // *Pacific cod of the Far Eastern waters of Russia* / ed. Orlov A.M. M.: VNIRO Publish. P. 37–80. (In Russ.).
- Safronov S.N. 1986. Pacific navaga // *Biological resources of the Pacific Ocean*. M.: Nauka. P. 201–212. (In Russ.).
- Svirsky V.G., Ivanov P.P. 1984. Eating larvae of saury of the Japanese pilchard // *Biology of the sea*. № 4. P. 67–90. (In Russ.).
- Serobaba I.I. 1968. Pollock spawning in the northeastern part of the Bering Sea // *Voprosy ikhtiologii*. V. 8, Is. 6. P. 992–1003. (In Russ.).
- Serobaba I.I. 1974. Ecology of Bering Sea pollock spawning // *Voprosy ikhtiologii*. V. 14, Is. 4. P. 635–648. (In Russ.).
- Smirnov A.A. 2014. Biology, distribution and state of stocks of the Gizhiginsko-Kamchatka herring: Monograph. Magadan: SVSU. 170 p. (In Russ.).
- Stepanenko M.A. 2001 a. State of stocks, interannual variability of replenishment numbers and commercial use of walleye pollock from the East Bering Sea population in the 80–90s // *Izvestiya TINRO*. V. 128. P. 145–152. (In Russ.).
- Stepanenko M.A. 2001 b. Patterns of interannual variability in the numbers of the East Bering Sea walleye pollock population and its trends in the late 90s // *Izvestiya TINRO*. V. 128. P. 136–144. (In Russ.).
- Stepanenko M.A., Gritsay E.V. 2016. The state of resources, spatial differentiation and reproduction of walleye pollock in the northern and eastern parts of the Bering Sea // *Izvestiya TINRO*. V. 185. P. 16–30. (In Russ.).
- Stepanenko M.A., Nikolaev A.V. 2005. The state of resources of the East Bering Sea walleye pollock in the early 2000s and its fisheries management // *Voprosy rybolovstva*. V. 6, № 2. P. 326–345. (In Russ.).
- Tarasyuk S.N. 1997. Biology and abundance dynamics of the main fishing flounders of Sakhalin: Author's abstract. diss. ... cand. biol. sciences. Vladivostok. 24 p. (In Russ.).
- Tokranov A.M., Vinnikov A.V. 1991. Feeding features of Pacific cod and its place in the trophic system of Kamchatka coastal waters // *Voprosy ikhtiologii*. V. 31. P. 253–265. (In Russ.).
- Trofimov I.K. 2010. On the distribution of Saffron cod on the shelf of the Karaginsky and Olyutorsky bays of the Bering Sea (based on the materials of bottom trawl surveys in 1971–2006) // *Studies of aquatic biological resources of Kamchatka and the northwestern Pacific Ocean*. Is. 18. P. 58–70. (In Russ.).
- Fadeev N.S. 1971. Biology and fishery of Pacific flounders. Vladivostok: Dalizdat. 100 p. (In Russ.).
- Fadeev N.S. 1981. Terms of reproduction and spawning approaches of pollock // *Ecology, stocks and fishing of pollock*. Vladivostok: TINRO. P. 3–18. (In Russ.).
- Fadeev N.S. 1986. Bering Sea // *Biological resources of the Pacific Ocean*. Moscow: Nauka. P. 389–405. (In Russ.).
- Fadeev N.S. 1987. Spawning grounds and breeding dates for pollock in the northern part of the Sea of Okhotsk // *Population structure, population dynamics and ecology of pollock*. Vladivostok: TINRO. P. 5–22. (In Russ.).
- Fadeev N.S. 1988. Distribution and migration of pollock in the Bering Sea // *Fisheries*. № 7. P. 46–47. (In Russ.).
- Fadeev N.S. 2005. Guide to the Biology and Fisheries of the North Pacific. Vladivostok: TINRO-Center. 366 p. (In Russ.).
- Fadeev N.S. 2009. Pollock of the Sea of Japan. Terms and areas of spawning, population composition // *Izvestiya TINRO*. T. 159. P. 70–100. (In Russ.).
- Fadeev N.S., Vespestad V. 2001. Walleye pollock fishing survey // *Izvestia TINRO*. V. 128. P. 75–91. (In Russ.).
- Fadeev N.S., Smirnov A.V. 1987. Estimation of the number of caviar and pollock producers in the northern part of the Sea of Okhotsk // *Biology of the sea*. № 4. P. 19–25. (In Russ.).
- Farkhutdinov R.K. 2005. Ecology of reproduction, dynamics of abundance and state of stocks of Okhotsk herring: Author's abstract. diss. ... cand. biol. sciences. Khabarovsk: VNIIF. 22 p. (In Russ.).
- Feldman M.G., Shevlyakov E.A. 2015. Survival of Kamchatka pink salmon as a result of the combined effect of density regulation and external environmental factors // *Izvestiya TINRO*. V. 182. P. 88–114. (In Russ.).
- Figurkin A.L., Zhigalov I.A., Vanin N.S. 2008. Oceanological conditions in the Sea of Okhotsk in the early 2000s. // *Izvestiya TINRO*. V. 152. P. 240–252. (In Russ.).
- Khen G.V., Basyuk E.O., Zuenko Yu.I., Ustinova E.I., Figurkin A.L., Glebova S. Yu., Shatilina T.A. 2009. Features of hydrological conditions in the Far Eastern seas in 2008–2009 // *Voprosy promyslovoj okeanologii*. Is. 6, № 2. P. 22–47. (In Russ.).
- Hen G.V., Basyuk E.O., Sorokin Yu.D., Ustinova E.I., Figurkin A.L. 2008. Thermal conditions on the surface of the Bering and Okhotsk Seas at the beginning of the 21st century against the background of half a century of variability // *Izvestiya TINRO*. T. 153. P. 254–263. (In Russ.).
- Chernyavsky F.B. 1984. Mammals of the extreme north-east of Siberia. M.: Nauka. 388 p. (In Russ.).
- Chernyavsky F.B. 2007. Studies of population cycles of lemmings and forest voles in the eastern sector of the Subarctic // *Bulletin of the SVNTS FEB RAS*. Is. 3. P. 28–33. (In Russ.).
- Chetvergova A.V. 2002. Sexual maturation of Western Kamchatka flounders // *Izvestiya TINRO*. V. 130, part 3. P. 940–953. (In Russ.).
- Chuchukalo V.I. 2006. Nutrition and nutritional relationships of nekton and nectobenthos in the Far Eastern seas. Vladivostok: TINRO-Center. 484 p. (In Russ.).
- Schwartz S.S. 1969. Evolutionary ecology of animals: ecological mechanisms of the evolutionary process. Sverdlovsk. 197 p. (In Russ.).
- Shevchenko V.V., Datsky A.V. 2014. Bioeconomics of the use of commercial pollock resources of the Northern Pacific. The experience of Russian and American fishermen. M.: VNIRO. 212 p. (In Russ.).
- Shuntov V.P. 2001. Biology of the Far Eastern seas of Russia. Vladivostok: TINRO-center. V. 1. 580 p. (In Russ.).
- Shuntov V.P. 2016. Biology of the Far Eastern seas of Russia. Vladivostok: TINRO. V. 2. 604 p. (In Russ.).
- Shuntov V.P., Volkov A.F., Temnykh O.S., Dulepova E.P. 1993. Walleye pollock in ecosystems of the Far Eastern seas. Vladivostok: TINRO. 426 p. (In Russ.).

- Shuntov V.P., Ivanov O.A. 2019. Climatic changes and the current state of the biota of the Russian waters of the Far Eastern seas // *Izvestia TINRO*. V. 197. P. 83–107. (In Russ.).
- Shuntov V.P., Ivanov O.A. 2021. «Wrong fish» or incorrect hypotheses: what happens to the nekton of the Kuril ocean waters? // *Izvestia TINRO*. V. 201, Is. 1. P. 3–23. (In Russ.).
- Shuntov V.P., Temnykh O.S. 2008. Pacific salmon in marine and oceanic ecosystems. Vladivostok: TINRO-Center. V. 1. 481 p. (In Russ.).
- Shuntov V.P., Temnykh O.S. 2011. Pacific salmon in marine and oceanic ecosystems. Vladivostok: TINRO-Center. V. 2. 473 p. (In Russ.).
- Yazev S.A., Levi K.G., Zodonina N.V. 2009. Global warming and questions of scientific methodology // *Izvestiya Irkutsk unta. Series "Earth Sciences"*. V. 1, № 1. P. 198–213. (In Russ.).
- Albanese D., Filosi M., Visintainer R., Riccadonna S., Jurman G., Furlanello C. 2012. Minerva and minepy: a C engine for the MINE suite and its R, Python and MATLAB wrappers // *Bioinformatics*. V. 29, Is. 3. P. 406–407.
- Datsky A.V., Kulik V.V., Datskaya S.A. 2021. Maximal information coefficients between some abiotic factors and fish stocks in the north-west Pacific, Mendeley Data, v4, doi: 10.17632/d5hy9smz5p.4. Accessible via: <https://data.mendeley.com/datasets/d5hy9smz5p/4>.
- Hastie T., Tibshirani R. 1990. Generalized Additive Models. London: Chapman & Hall. 467 p.
- Hinckley S. 1987. The reproductive biology of walleye pollock, *Theragra chalcogramma*, in the Bering Sea, with reference to spawning stock structure // *Fish. Bull.* V. 85, № 3. P. 481–498.
- Ianelli J.N., Honkalehto T., Barbeaux S., Kotwicki S., Aydin K., Williamson N. 2013. Assessment of the walleye pollock stock in the Eastern Bering Sea. Accessible via: <http://www.afsc.noaa.gov/REFM/docs/2013/EBSpollock.pdf>.
- Ianelli J.N., Kotwicki S., Honkalehto T., McCarthy A., Stienessen S., Holsman K. 2018. Chapter 1: Assessment of the walleye pollock stock in the Eastern Bering Sea. Accessible via: <https://www.afsc.noaa.gov/REFM/docs/2018/BSAI/2018EBSpollock.pdf>.
- Kinney J.B., Atwal G.S. 2014. Equitability, mutual information, and the maximal information coefficient // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 111(9). P. 3354–3359.
- Large S.I., Fay G., Friedland K.D., Link J.S. 2015. Critical points in ecosystem responses to fishing and environmental pressures // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* V. 521. P. 1–17.
- McArthur R.H., Wilson E.O. 1967. The theory of island biogeography // Princeton (N.J.): Princeton Univ. Press. 203 p.
- NPAFC. Rezhim dostupa: http://www.npafc.org/new/science_statistics.html. 09.09.2021.
- Okada K. 1986. Biological characteristics and abundance of pelagic pollock in the Aleutian Basin // *Bull. INPFC*. № 45. P. 150–176.
- Ormseth O.A. 2019. Status of forage species in the Bering Sea and Aleutian Islands region. Alaska Fisheries Science Center. P. 1–46. Accessible via: <https://apps-afsc.fisheries.noaa.gov/refm/docs/2019/BSAIforage.pdf>.
- Reshef D.N., Reshef Y.A., Mitzenmacher M., Sabeti P.C. 2014. Cleaning up the record on the maximal information coefficient and equitability // *Proc. Natl. Acad. Sci.* V. 111, № 33. P. 3362–3363.
- Reshef D.N., Reshef Y.A., Finucane H.K., Grossman S.R., McVean G., Turnbaugh P.J., Lander E.S., Mitzenmacher M., Sabeti P.C. 2011. Detecting novel associations in large data sets // *Science*. V. 334, № 6062. P. 1518–1524.
- Sakamoto Y., Ishiguro M., Kitagawa G. 1986. Akaike Information Criterion Statistics. D. Reidel Publishing Company. Tokyo, Dordrecht etc. 290 p.
- Siddon E., Zador S. 2017. Status of the Eastern Bering Sea Marine Ecosystem. Ecosystem Considerations 2017. North Pacific Fishery Management Council. Anchorage, AK. P. 1–229. Accessible via: <https://www.afsc.noaa.gov/REFM/Docs/2017/ecosysEBS.pdf>.
- Stepanenko M.A. 1989. The state of stocks and distribution of pollock in the Bering Sea // *Proc. Intern. Symp. Biol. Managem. Walleye Pollock*, Nov. 1988. Fairbanks, Alaska. P. 537–547.
- Vasilets P.M. 2015. FMS analyst – computer program for processing data from Russian Fishery Monitoring System. doi:10.13140/RG.2.1.5186.0962.
- Vinnikov A.V. 1996. Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) of the Western Bering Sea // *Ecology of Bering Sea: a review of Russian literature* (Mathisen O.A., Coyle K.O., eds.). Alaska Sea Grant Report № 96–01. Fairbanks: University of Alaska. P. 183–202.
- Wood S.N. 2003. Thin plate regression splines // *J.R. Stat. Soc. Ser. B (Statistical Methodol.)*. V. 65, № 1. P. 95–114.
- Wood S.N. 2011. Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models // *J.R. Stat. Soc. Ser. B (Statistical Methodol.)*. V. 73, № 1. P. 3–36.
- Wood S.N., Shaw S., Goude Y. 2015. Generalized additive models for large data sets // *J.R. Stat. Soc. Ser. C (Applied Stat.)*. V. 64, № 1. P. 139–155.

Поступила в редакцию 17.01.2020 г.
Принята после рецензии 03.09.2021 г.

Водные биологические ресурсы

Долгосрочный прогноз российской добычи сельди в Балтийском море

И.С. Труфанова, В.М. Амосова

Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АтлантНИРО»), ул. Дм. Донского, д. 5, г. Калининград, 236022
E-mail: inna-baltic@yandex.ru

Целью работы является выполнение прогнозирования российского вылова балтийской сельди (салаки) *Clupea harengus membras* на ближайшее десятилетие. Необходимость данного исследования в первую очередь обусловлена социально-экономическими факторами: модернизацией рыбопромышленного комплекса Калининградской области, наращиванием объёмов добычи и переработки сельди, планированием мощностей рыбодобывающих и рыбоперерабатывающих предприятий региона в ближайшие годы. Запасы промысловых видов рыб в Балтийском море относятся к трансграничным. В рамках международного регулирования рыболовства и промысла водных биологических ресурсов в Балтийском море между прибалтийскими странами Европейского союза и Российской Федерацией осуществляется научное сотрудничество в международной научной организации, занимающейся проблемами комплексного изучения и эксплуатации биологических ресурсов морей и океанов, – Международным советом по исследованию моря (ИКЕС). В настоящее время отмечается тенденция к снижению запаса вида, в том числе, в связи с произошедшими изменениями в экосистеме Балтики.

Используемые методы: прогноз основан на трёх сценарных расчётах при помощи апробированного на международном уровне в рамках ИКЕС программного обеспечения MFDP (Multi Fleet Deterministic Projection) с использованием многолетних рядов биостатистических данных по возрастным группам. Для оценки возможного вылова применялись рекомендованные ИКЕС биологические ориентиры, промысловая смертность, граничный ориентир нерестовой биомассы.

Новизна: подобное долгосрочное прогнозирование российского вылова для балтийской сельди ранее не проводилось.

Результат: получены возможные величины нерестовой биомассы запаса до 2030 г. и российского вылова сельди в Балтийском море до 2029 г. в условиях снижения величины запаса сельди ниже предосторожного подхода, постепенно приближающегося к граничному ориентиру.

Практическая значимость: прогностические оценки возможного объёма вылова сельди в российской зоне могут служить ориентирами для рыбодобывающих организаций при планировании устойчивости производственных показателей до 2030 г.

Ключевые слова: балтийская сельдь, *Clupea harengus membras*, промысел, Балтийское море, прогнозирование.

Long-term forecast of Russian herring catch in the Baltic Sea

Inna S. Trufanova, Victoria M. Amosova

Atlantic Branch of VNIRO («AtlantNIRO»), 5, Dm. Donskoy st., Kaliningrad, 236022, Russia

The aim of this article is to forecast of the Russian catch of the Baltic herring *Clupea harengus membras* for the next decade has been carried out. The necessity of this study is primarily due to socio-economic factors: the modernization of the fishing industry of the Kaliningrad region, increasing the volume of catches and processing of herring, capacity planning of fishing and fish processing companies in the region in the coming years. The stocks of commercial fish species in the Baltic Sea are transboundary. Scientific cooperation between the Baltic countries of the European Union and the Russian Federation is carried out in an international scientific organization dealing with the problems of complex study and exploitation of biological resources of the seas and oceans – the International Council for the Exploration of the Sea (ICES) in the framework of international regulation of fishing and fishing of aquatic biological resources in the Baltic Sea. At present, there is a tendency towards a decrease in the herring stock, including in connection with the changes that have occurred in the ecosystem of the Baltic.

Methods used: the forecast is based on three scenario calculations using a proven at the international level within the software ICES MFDP (Multi Fleet Deterministic Projection). Long-term series of biostatistical data by age group were used. The biological reference points recommended by ICES, fishing mortality, and the boundary reference point for spawning biomass were used to assess the possible catch.

Novelty: such a long-term forecasting of the Russian catch for Baltic herring has not been performed before.

Result: we obtained the possible values of the spawning stock biomass to 2030 and the Russian catches of herring in the Baltic Sea until 2029 in the current conditions of a decrease in the size of the herring stock below precautionary approach, gradually approaching the lower reference point.

Practical significance: long-term forecast of herring catch in the Russian zone can serve as guidelines for fishing organizations when planning the sustainability of production indicators until 2030.

Keywords: Baltic herring, *Clupea harengus membras*, fishery, Baltic Sea, forecasting.

ВВЕДЕНИЕ

Сельдь балтийская (салака) (*Clupea harengus membras* L., 1761) является одним из важнейших представителей промысловой ихтиофауны Балтийского моря наряду с треской (*Gadus morhua callarias* L., 1758), шпротом (килькой) (*Sprattus sprattus balticus* Schneider, 1908), речной камбалой (*Platichthys flesus trachurus* Duncker, 1892) и балтийской камбалой (*Platichthys solemdali* Momigliano, Denys, Jokinen, Merilä, 2018). Она занимает второе место по объёму добычи рыб на российской акватории моря после шпрота.

Несколько последних десятилетий в экосистеме Балтийского моря происходили глубокие структурные изменения, вызванные прессом рыболовства, эвтрофикацией и изменением (потеплением) климата. Влияние этих факторов отразилось на видовом составе, численности и функционировании зоопланктонного¹ и рыбного² сообществ [MacKenzie, Koster, 2004; Зезера, 2009; Зезера, Иванович, 2011; Зезера и др., 2012, 2014; Карпушевский и др., 2013; Amosova et al., 2016; Амосова и др., 2017]. Увеличилась пространственная неоднородность распределения промысловых видов рыб, усилилась межвидовая и внутривидовая конкуренция мелкосельдевых из-за снижения пресса хищничества трески и сокращения её запаса [Amosova et al., 2016; Report of the Inter-Benchmark, ... 2020b].

Эксплуатация водных биологических ресурсов (ВБР) связана с большими экологическими рисками, что особенно значимо в последние годы на фоне модернизации и обновления российского промыслового флота, развития береговой инфраструктуры рыбоприёмных пунктов и с учётом повышенной чувствительности экосистемы к воздействиям человека и самой среды. Для сохранения устойчивой сырьевой базы, репродуктивной способности популяций рыб, достижения баланса между промысловыми мощностями и существующими запасами рыб актуальными стали вопросы долгосрочного прогнозирования. Проблема перспектив развития регионального прибрежного промысла, ориентированного на состояние запасов рыб в будущем, особо подчёркивалась на официальных встречах представителей местной рыбо-

промышленной отрасли с главами Росрыболовства³ [Fishnews, 2020]. Для повышения эффективности и работоспособности рыбохозяйственного комплекса Калининградского региона необходимо прогнозирование устойчивости его производственных и отраслевых показателей. Это требует, в том числе, наличия определённых ориентиров величин добычи ВБР. Прогноз возможного российского вылова шпрота в Балтийском море на ближайшие годы уже был выполнен [Амосова и др., 2018], по сельди такое исследование до настоящего времени ещё не проводилось.

Цель данной работы: определить возможные объёмы российской добычи сельди в Балтийском море в пределах ближайшего десятилетия.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Запасы рыб Балтийского моря относятся к трансграничным. Расчёт их объёмов осуществляется на Рабочей группе ИКЕС (ICES – International Council for the Exploration of the Sea, Международный Совет по исследованию моря) по оценке запасов рыб и рыболовства в Балтийском море (WGBFAS – Baltic Fisheries Assessment Working Group), в работе которой ежегодно принимают участие специалисты АтлантНИРО. Сельдь, эксплуатируемая в исключительной экономической зоне (ИЭЗ) и территориальном море Российской Федерации (РФ) 26+32 подрайонов ИКЕС Балтийского моря, относится к Центральному запасу – 25–29 (исключая Рижский залив) и 32 подрайоны ИКЕС (рис. 1).

Поэтому для долгосрочного детерминированного прогнозирования был использован ряд многолетних данных ИКЕС по всей единице запаса за 1974–2020 гг.: численность по возрастным группам, промысловая и естественная смертность по возрастным группам, коэффициенты полового созревания, средние массы по возрастным группам, а также численность пополнения на прогнозные годы. Российские материалы по сельди и другим видам рыб, собранные из промысловых и научно-исследовательских уловов, ежегодно успешно проходят проверку и принимаются ИКЕС, и вместе с аналогичной информацией из других балтийских стран используются как входные для моделей оценок запасов рыб. Вся вышеперечисленная многолетняя статистика ежегодно обновляется ИКЕС и приводится в материалах Рабочих групп [Report of the Baltic ..., 2021 a, Report of the Working..., 2021 c]. Оценка величины запасов рыб производится также на Рабочих группах посредством различных программ и моделей, доступных в ИКЕС.

³ Запасы Балтики снижаются. Fishnews. 2020. Доступно через: <https://fishnews.ru/news/40576>. 07.04.2021.

¹ Feldman V.N., Zhigalova N.N., Patokina F.A., Zezera A.S. 2002. Dynamics of zooplankton structure, sprat and herring feeding and trophic interactions in conditions of water warming in the southeastern Baltic Sea // ICES ASC Handbook, Annual Science Conference ICES, 29 September – 9 October, Copenhagen, Denmark. ICES CM/N:05: P. 1–31.

² Feldman V.N., Vasilieva T.G. 2001. Changes in distribution, abundance and population structure of Baltic sprat in 1992–2000 // ICES ASC Handbook, ICES Annual Science Conference ICES, 26–29 September 2000. Oslo, Norway. ICES CM 2001 /U:05. P. 111.

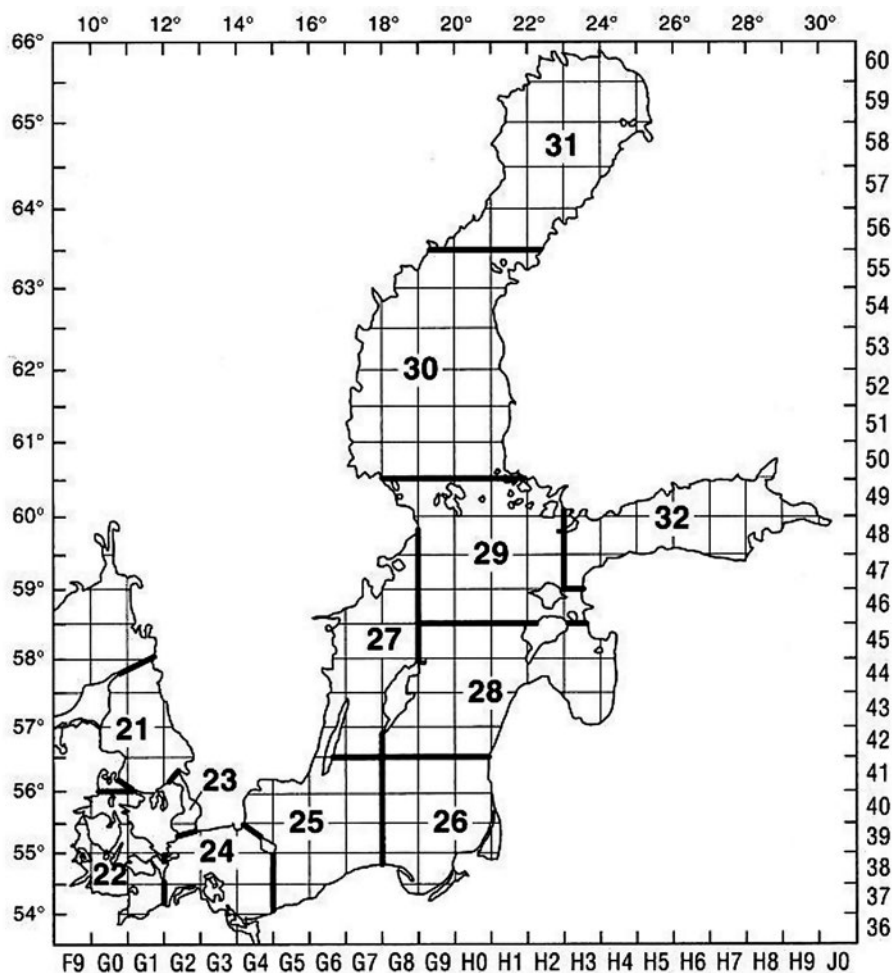


Рис. 1. Подрайоны ИКЕС Балтийского моря
Fig. 1. The Baltic Sea ICES subdivisions

Вследствие сложной популяционной структуры сельди и наличия группировок с разными темпами роста чётких доказательств наличия значимой связи между запасом и пополнением не обнаружено [Report of the Inter-Benchmark ..., 2020 b]. Соответственно, детерминированное прогнозирование численности пополнения сельди в возрасте 1 год в различные годы классическими уравнениями динамики запасов рыб Бивертон-Холта и Риккера (зависимость запас-пополнение S-R модель) существенно затруднено. Оценка Центрального запаса балтийской сельди (подрайоны ИКЕС 25–29+32, за исключением Рижского залива) на протяжении многих лет выполняется методом виртуально-популяционного анализа⁴ (ВПА, версия 3.1.) с настройкой по методу «расширенного анализа выживания» XSA [Shepherd, 1992]. Для анализа регрессии индексов численности 0-группы для

25–27, 28.2 и 29 подрайонов ИКЕС на численность пополнения (возраст 1 год) по XSA и прогноза использовалась самостоятельная программа калибровки пополнения RCT3 (Recruitment calibration tools ver. 3.1) [Shepherd, 1997; Report of the Baltic ..., 2021a, Report of the Working ..., 2021c], код которой также доступен в среде R.⁵ Корреляция индексов 0-группы на съёмках с численностью первой группы XSA для поколений 2014–2020 гг. была высокой ($R^2 = 0,78–0,86$). Пополнение 2021 г. (поколение 2020 г.) оценено на уровне ниже среднеегодового значения за период 1974–2020 гг. (17,5 млрд экз.) и составило 12,13 млрд экз. В соответствии с методикой ИКЕС пополнение 2022 г. рассчитано как геометрическое среднее за период 1988–2019 гг. – 11,95 млрд экз.; прогнозируемое пополнение для 2023–2030 гг. – среднее геометрическое за последние 10 лет (11,38 млрд экз.). Испол-

⁴ Darby C. D., Flatman S., 1994. Virtual Population Analysis: Version 3.1 (Windows/DOS), User Guide. Inf. Techn. Ser. MAFF Direct. Fish. Res., Lowestoft. – 85 p.

⁵ Package 'rct3'. CRAN. 2021 [обновлено 25 сентября 2020. процитировано 17 декабря 2021]. Доступно через: <https://cran.rstudio.com/web/packages/rct3/rct3.pdf>

зование данных по пополнению именно за десятилетие обусловлено следующими причинами. Во-первых, этот период отражает текущее состояние популяции с учётом современных изменений климата, промысловых нагрузок и прочих факторов, а также учитывает тенденции их развития в ближайшей перспективе. Во-вторых, за 10 лет поколение практически полностью облавливается. И наконец, эти 10 лет включают в себя как урожайные поколения, так и среднеурожайные и неурожайные поколения, т.е. все варианты.

Коэффициенты естественной смертности (M) сельди, переменные для различных возрастов, в разные годы зависят от степени влияния хищничества трески. До 2012 г. на рабочих группах ИКЕС коэффициенты смертности от хищничества (M_1) были получены на основе многовидового ВПА (MSVPA) [Sparre, 1991]. Начиная с 2013 г., новые оценки M_1 (для 1974–2011 гг.) выполнялись с помощью стохастического многовидового моделирования⁶ (SMS – Stochastic Multi-Species model), благодаря которому появилась возможность использовать в настройках долгопериодные ряды вылова трески, шпрота и сельди по возрастам, индексы численности, биомассы рыб и наполнения их желудков по данным съёмок. В 2019 г. впервые после 2013 г. проведена аналитическая оценка биомассы трески согласно I-му уровню информационного обеспечения [Report of the Baltic ..., 2019]. В связи с этим в 2020 г. состоялся пересмотр коэффициентов естественной смертности (M) сельди. В сравнении с предыдущими оценками M , значения коэффициентов существенно увеличились для младших возрастных групп (сеголетки, годовики). Для возрастных групп 2–8+ они стали более высокими с начала временного периода до середины 1980-х гг. [Report of the Inter-Benchmark ..., 2020b].

Коэффициенты темпа полового созревания сельди 25–27, 28.2, 29, 32 подрайонов ИКЕС, используемые в расчётах биомассы запаса на будущие годы, также были пересмотрены в марте 2020 г. [Report of the Inter-Benchmark ..., 2020b]. Данные России и других прибалтийских стран были усреднены по группам подрайонов, с весовым коэффициентом, отражающим пропорцию вылова в подрайонах. Они анализировались с использованием обобщённой линейной интерактивной модели (GLIM) [McCullagh, Nelder; 1989]. Результаты для всего моря в среднем показали, что в возрасте 1 год созревает 0% сельди, в возрасте 2 года – 70%, в возрасте 3 года – 90%, в возрасте

4 года созревает 100% салаки. Оценки созревания сельди, проведённые в 2020 г., не отличались от таковых в 2013 и 2002 гг.

Данные анализировали в программе MFDP⁷ (Multi Fleet Deterministic Projection), которая производит расчёты по классическим уравнениям динамики запасов рыб, она используется и на Рабочих группах ИКЕС [Report of the Baltic ..., 2021 a]. После загрузки вышеперечисленных материалов в окне программы вносились параметры для прогнозных лет: предполагаемая численность пополнения, промысловая (F) и естественная (M) смертность. Данный подход позволил провести анализ и диагностику (оценку) полученных результатов.

Анализ динамики эксплуатируемого запаса сельди был основан на детерминистическом долгосрочном моделировании нерестовой биомассы и вылова при разных уровнях промысловой смертности (от 0 до 2 с шагом 0,1) на основе трёх сценариев развития ситуации:

1. Для периода 2023–2029 гг. промысловая нагрузка (F), величина пополнения запаса (R), естественная смертность (M) и прочие входные данные остались на уровне последних трёх лет (2018–2020 гг. – период резкого роста промысловой смертности), т.е. $F=0,47$, $R=9,65$ млрд экз. (среднее геометрическое 2018–2020 гг.);

2. Для периода 2023–2029 гг. промысловая смертность соответствовала оптимальной интенсивности промысла (F_{MSY}), равной 0,21;

3. Для периода 2023–2029 гг. промысловая смертность соответствовала верхней границе оптимальной интенсивности промысла ($F_{MSYupper}$), равной 0,26.

Для 2021–2022 гг. применялись следующие опции управления запасом:

– для промысловой смертности 2021 г. настройка модели осуществлялась через установленный ОДУ для всей единицы запаса (Европейский Союз (ЕС)+Российская Федерация (РФ) = 129,7 тыс. т), т.е. $F_{2021} = 0,34$.

– промысловая смертность 2022 г. установлена на уровне 0,28 в соответствии с предполагаемым выловом, при котором нерестовая биомасса (SSB) в 2023 г. достигнет величины предосторожного подхода (B_{pa}) [Report of the Baltic ..., 2021 a].

Анализ и оценка полученных результатов выполнялись для трёх сценарных расчётов относительно

⁷ ICES. 1999. Report of the ICES workshop on Standard Assessment Tools for Working Groups. Aberdeen. 3rd – 5th March 1999.

Darby, C. & Smith, M.. (2003). The Multi-Fleet Deterministic Projection Program (MFDP). 115–134. [обновлено май 2003; процитировано 17 декабря 2021]. Доступно через: https://www.researchgate.net/publication/296788449_The_Multi-Fleet_Deterministic_Projection_Program_MFDP

⁶ SMS – the Stochastic Multi-Species model. DTU Aqua. 2021. [обновлено 11 декабря 2012; процитировано 17 декабря 2021]. Доступно через: https://projects.au.dk/fileadmin/projects/memc/Models/SMS_PP.pdf

биологических ориентиров по биомассе при условии освоения ОДУ в полном объёме всеми странами. При этом использовались биологические ориентиры, рекомендованные ИКЕС [Report of the ICES ..., 2020c]. Уровень промысловой смертности F_{MSY} соответствует максимальному уравнивающему улову, верхняя и нижняя границы смертности, соответствуют значениям, приводящим к изменению долгосрочного вылова не более чем на 5% по сравнению с ориентиром, равным 0,21. Граничный ориентир нерестовой биомассы (B_{lim}) установлен на уровне 2002 г., как наименьшего значения нерестовой биомассы, способствовавшего увеличению пополнения выше среднего (соответствует B_{loss}). Для предосторожного подхода установлен целевой ориентир B_{pa} (табл. 1).

Научно-исследовательские съёмки по оценке запасов ВБР на акватории российской зоны в последние годы нерегулярны, поэтому для анализа многолетней динамики численности внутривидовых группировок сельди в работе приведены материалы промысловых наблюдений, собранные сотрудниками АтлантНИРО за 1992–2020 гг. по общепринятым методикам [Карпушевский и др., 2013]. Они включили 1779 тралений, 374918 экз. массовых промеров рыб и 69515 экз. биологических анализов, из которых 45313 экз. — с определением группировки и возраста согласно методике Комповского [Komrowski, 1969], Оявеера [1987], Феттер [Fetter et al., 1992] и Бирюкова [1970] по отоли-там. Оценка точности определения возраста сельди специалистами из всех стран Балтийского региона показала хорошую сходимость результатов на уровне 75% [Report of the Workshop..., 2020 e].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Общий вылов балтийской сельди в 25–29+32 подрайонах ИКЕС Балтийского моря (исключая сельдь Рижского залива) колебался от максимальных значений в 1974 г. (369 тыс. т) до минимальных — 92 тыс. т

в 2005 г. (рис. 2). В 2020 г. объем добытой салаки составил 177,1 тыс. т при уровне среднего многолетнего показателя за период с 1974 по 2019 гг., равного 202 тыс. т [Report of the Baltic ..., 2021 a]. На протяжении многих лет вылов сельди относительно равномерно вёлся на всей акватории распределения её запаса. Ведущие страны по уловам вида — Швеция, Польша, Финляндия, Эстония и Россия. Освоение квоты странами Европейского союза (ЕС) в последние 5 лет близко к 100%.

Поколения 2015–2019 гг. (пополнения 2016–2020 гг.) оценены на уровне ниже среднемноголетнего значения за период 1974–2020 гг. (17,5 млрд экз.). Нерестовая биомасса сельди снижалась до 2002 г. при значительном росте промысловой смертности в этот период. В 2020 г. нерестовая биомасса сельди составила 365 тыс. т, при среднем многолетнем значении за период 1974–2020 гг. — 852 тыс. т. В период 2012–2014 гг. промысловая смертность находилась ниже, а в 2015–2020 гг. — выше уровня F_{msy} (0,21) в среднем за пятилетие в 2 раза, т.е. промысловая нагрузка в 2018–2020 гг. достигла значений конца 1990-х — начала 2000-х годов, когда отмечались минимальные значения величины запаса сельди. Таким образом, величина запаса сельди Центральной Балтики в настоящее время находится в биологически безопасных пределах, однако объем ее нерестовой биомассы в 2020 г. оказался ниже величины предосторожного подхода и всего на 10% выше предельной величины ($B_{lim}=330$ тыс. т).

Российский вылов сельди в 1993–2020 гг. в Балтийском море оставался на относительно низком уровне — от 6,5 до 26,0 тыс. т (в среднем 14,4 тыс. т) (рис. 3). Недоосвоению квот способствовала незаинтересованность промышленности из-за низкой закупочной цены на сельдь, и низкая рентабельность устаревшего отечественного рыболовного флота на Балтике. Благодаря областным финансовым

Таблица 1. Биологические ориентиры для запаса 25–29+32 подрайонов ИКЕС Балтийского моря (исключая сельдь Рижского залива) для 2021–2030 гг.

Table 1. Biological reference points for the Central Baltic herring stock in 25–29+32 ICES subdivisions (excluding Gulf of Riga) for 2021–2030

Критерий	Ориентир	Значение
MSY подход	F_{MSY}	0,21
	Целевой диапазон $F_{MSYlower}$ (нижняя граница)	0,15
	Целевой диапазон $F_{MSYupper}$ (верхняя граница)	0,26
Предосторожный подход	$B_{pa} = 1,4 \times B_{lim}$	460 тыс. т
Граничный ориентир нерестовой биомассы	B_{lim}	330 тыс. т

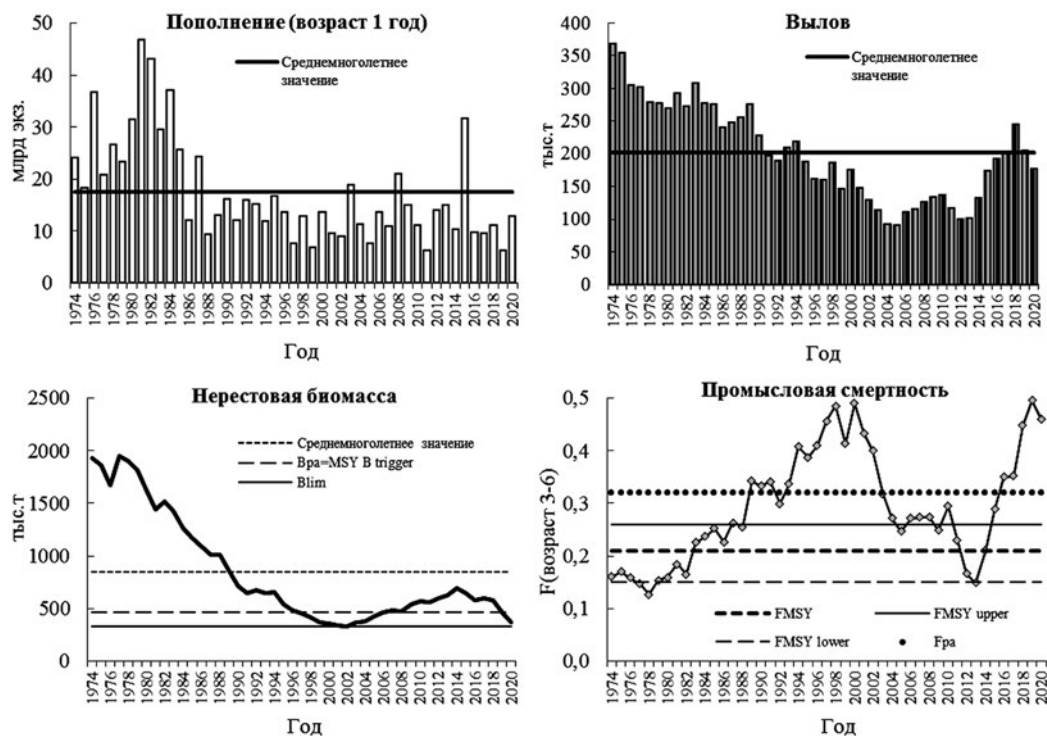
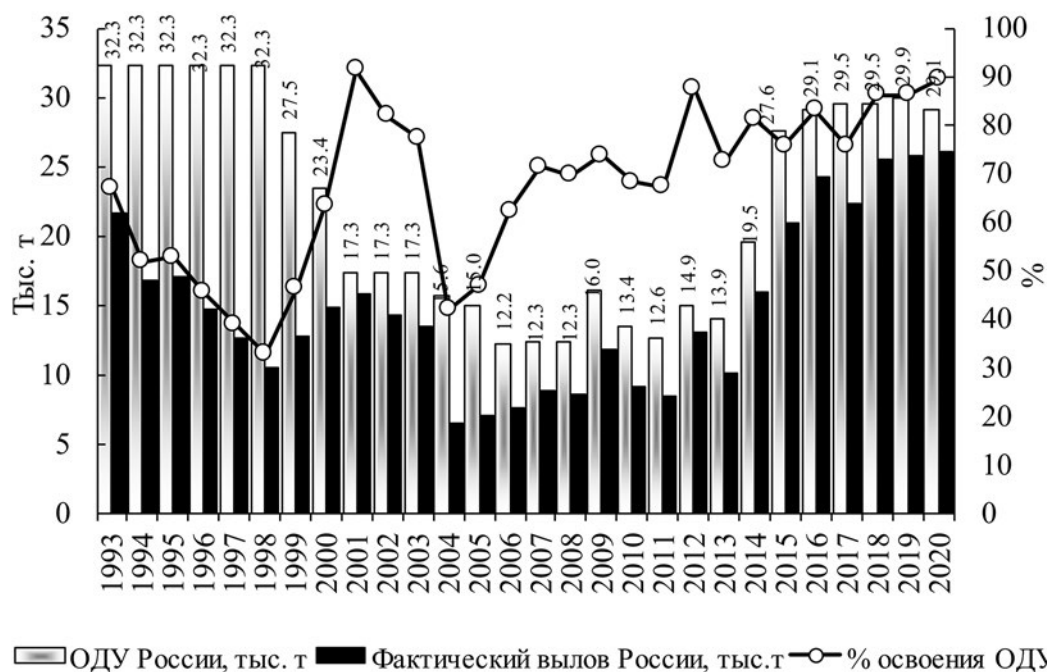


Рис. 2. Состояние запаса балтийской сельди и ее промысел в 25–29, 28.2 и 32 подрайонах ИКЕС (исключая сельдь Рижского залива) в 1974–2020 гг.

Fig. 2. The state of the Baltic herring stock and its fishery at 25–29, 28.2 and 32 ICES subdivisions (excluding the herring of the Gulf of Riga) in 1974–2020



□ ОДУ России, тыс. т ■ Фактический вылов России, тыс. т ○ % освоения ОДУ

Рис. 3. Российский ОДУ (тыс. т), фактический вылов (тыс. т) и освоение ОДУ (%) балтийской сельди (салаки) в 1993–2020 гг.

Fig. 3. Russian TAC (thousand tons), actual catch (thousand tons) and development of Baltic herring TAC (%) in 1993–2020

дотациям при промысле мелкосельдевых, повышению закупочной стоимости салаки, модернизации судов, с 2012 г. объёмы добычи и выбор квот стали увеличиваться на всей российской акватории. С 2015 г. отечественная квота сельди была увеличена в рамках реализации стратегии импортозамещения и обеспечения продовольственной безопасности региона. В 2020 г. отечественный вылов сельди достиг исторического максимума и составил 26,0 тыс. т, освоение квоты (29,1 тыс. т) составило 89,5%.

Российская добыча сельди в пределах единицы запаса ведётся в 26 и 32 подрайонах ИКЕС. Причём если до 2015 г. включительно основной объем вылова сельди (до 85%) приходился на 26 подрайон ИКЕС, включая Калининградский (Вислинский залив), то с 2016 г. доля вылова сельди в 32 подрайоне ИКЕС стала постепенно увеличиваться и к 2020 г. достигла 48% от общего отечественного вылова (рис. 4).

Российские уловы сельди в 26-м подрайоне неоднородны по структуре, в них встречаются три внутривидовых группировки: доминирующая в уловах быстрорастущая весеннерестующая прибрежная, менее многочисленная медленнорастущая весеннерестующая сельдь открытого моря и малочисленная в последние годы осеннерестующая (рис. 5). Они отличаются морфометрическими параметрами, сроками и местами нереста, направлением миграций, скоростью созревания, темпом роста, массой по возрастам [Рорiel, 1958, 1984; Бирюков, 1970; Оявеер, 1987; Аго, 1989].

На рисунке 6 представлена динамика численности прибрежной и морской группировки балтийской сельди в промысловых уловах в 2010–2020 гг. (доля в уловах,%). Весеннерестующая сельдь открытого



Рис 5. Структура российских уловов сельди в 26 подрайоне ИКЕС за 1992–2020 гг.

Fig. 5. The structure of Russian herring catches in the 26 ICES subdivision for 1992–2020

моря и осеннерестующая объединены в одну группу «морской» сельди ввиду сходства образа их жизни [Рорiel, 1984; Оявеер, 1987]. В начале десятилетия отношение численности морской группировки к прибрежной было 1 к 2,3, но с 2016 г. соотношение группировок стало близко к 1:1, т.е. морской сельди в уловах стало больше, а прибрежной с 2018 г. вылавливается несколько меньше, чем раньше. Наличие разных экологических группировок сельди внутри её запаса делает вид более пластичным при изменении состояния окружающей среды и предоставляет стабильную базу для её добычи при ведении промысла на разных акваториях [Труфанова, 2017 а б, 2018 а б].

Данный факт, наряду с влиянием абиотических компонент, урожайности поколений и пр., может быть одной из причин довольно неуспешного освоения квот в Калининградском (Вислинском) заливе после 2016 г., куда ежегодно весеннерестующая прибрежная сельдь совершает нерестовые миграции, и где стартует весенняя «путина» (рис. 7).

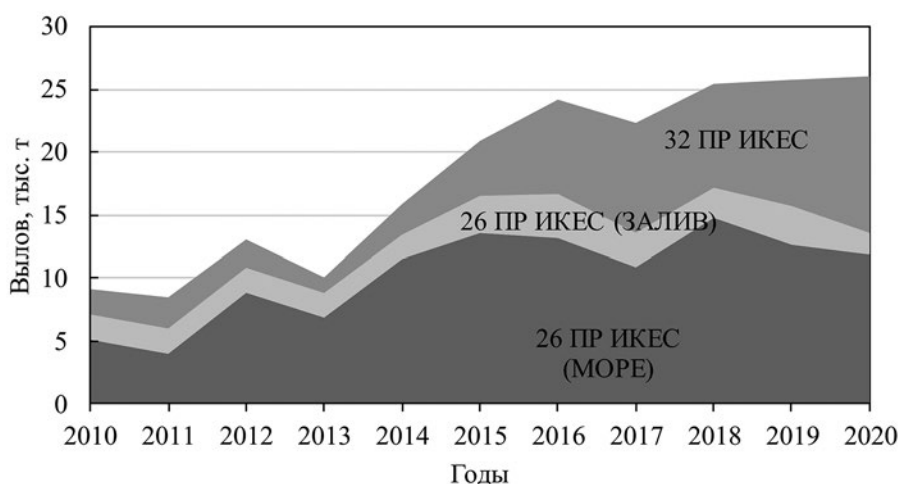


Рис. 4. Российский вылов балтийской сельди (салаки) по подрайонам ИКЕС в 2010–2020 гг.

Fig. 4. Russian Baltic herring catch by ICES subdivisions in 2010–2020

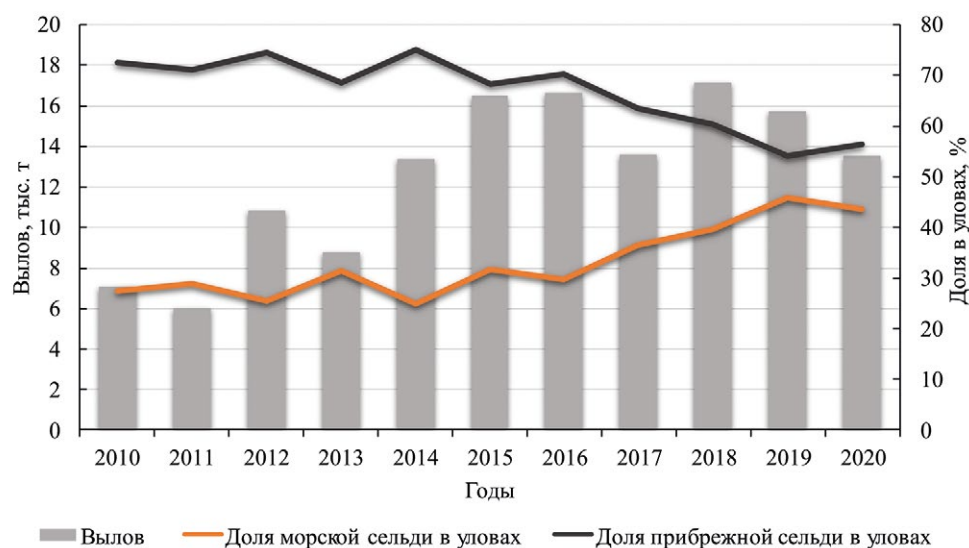


Рис. 6. Российский вылов балтийской сельди в 26 подрайоне ИКЕС (тыс. т) и популяционная динамика прибрежной и морской группировок балтийской сельди (доля в уловах, %) в промысловых уловах в 2010–2020 гг.

Fig. 6. Russian catch of Baltic herring in the 26 ICES subdivision (thousand tons) and population dynamics of coastal and marine groups of Baltic herring (share in catches, %) in commercial catches in 2010–2020

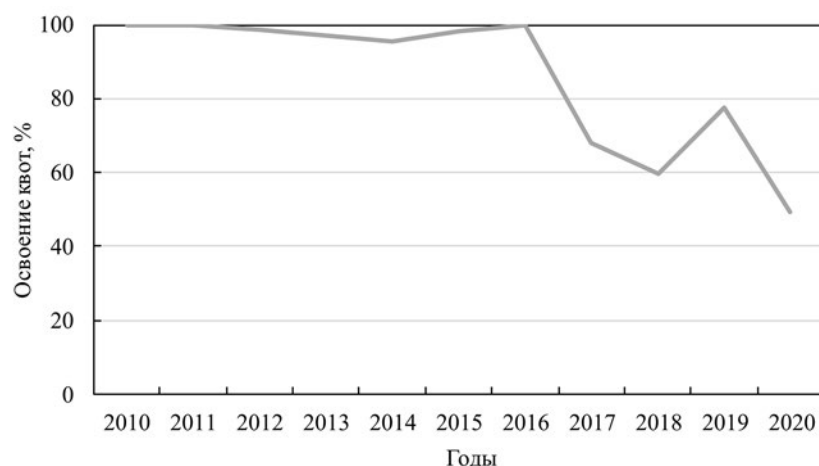


Рис. 7. Освоение российской квоты по сельди в Калининградском (Вислинском) заливе в 2010–2020 гг.

Fig. 7. Development of the Russian quota for herring in the Kaliningrad (Vistula) Lagoon in 2010–2020

Проведённые в 2013 г. ИКЕС исследования по оценке запаса сельди центральной части Балтийского моря отдельно для каждой внутривидовой группировки по данным России, Польши, Швеции, Латвии, Литвы и Финляндии показали отсутствие влияния таких оценок на динамику величин всего запаса.⁸ Однако в масштабах локального участка акватории моря динамика численности группировок имеет большее значение. Доминирование в уловах морской группировки с меньшими индивидуальными навесками, вероятно, может влиять на величину

запаса сельди, а также её добычу в Калининградском (Вислинском заливе).

По данным ИКЕС, в последние десятилетия в Балтике произошло перераспределение запаса вида [Report of the Working ..., 2020 d]: в южной части моря, куда входит российская акватория 26-го подрайона, численность быстрорастущих сельдей снизилась, а в северной выросло количество медленнорастущих особей с низкими навесками по возрастам. Это стало одной из причин снижения биомассы всего запаса. Интересно, что снижение биомассы и численности сельди в Балтийском море характерно не только для единицы Центрального запаса, но и для сельди Западной Балтики 20–24 подрайонов [Report of the

⁸ Report of the benchmark workshop on Baltic multispecies assessments (WKBALT). 2013. Copenhagen, Denmark, ICES CM 2013/ACOM:43. 399 p.

ICES ..., 2021 b]. Кроме того, результаты оценки запаса на WGBFAS 2020 с обновлёнными значениями M (вследствие проведённой впервые после 2013 г. аналитической оценки запаса трески) за 1974–2018 гг. привели к пересмотру величин нерестовой биомассы в сторону понижения (ремасштабированию) с сохранением основного тренда направленности развития величины биомассы, а также к пересмотру коэффициентов промысловой смертности в сторону увеличения (рис. 8). В сравнении с предыдущими оценками M , значения коэффициентов существенно увеличились для младших возрастных групп (сеголетки, годовики). Для возрастных групп 2–8+ стали более высокими с начала временного периода до середины 1980-х гг. [Report of the Baltic ..., 2019, 2020 a]. В последние годы для них характерна тенденция к снижению.

На основе данных о темпах полового созревания сельди, коэффициентах промысловой и естественной смертности (с учётом хищничества трески), численности по возрастным группам и возможной доли отечественного вылова от вылова всеми странами,

с помощью классических уравнений динамики запасов рыб было выполнено детерминированное долгосрочное моделирование. Были рассчитаны некоторые теоретические значения величин нерестовой биомассы сельди в 2021–2030 гг. в рамках единицы запаса, возможных общих уловов (Европейский Союз (ЕС) + Российская Федерация (РФ)) и в пределах ИЭЗ и территориального моря России 26+32 подрайонов ИКЕС в 2021–2029 гг.

Результаты расчётов первого сценария (уровень последних трёх лет) представлены в таблице 2. Нерестовая биомасса сельди достигнет к 2025 г. критических значений, перешагнув в 2026 г. «красную черту» граничного ориентира, равного 330 тыс. т. Запас будет находиться в состоянии потери репродуктивной способности, а промысловую смертность необходимо будет как можно ближе приблизить к нулю.

Результаты расчётов по второму сценарию развития ситуации (оптимальная интенсивность промысла с 2023 г., $F_{MSY}=0,21$) представлены в табл. 3. Промысловая нагрузка в ближайшие годы должна быть сни-

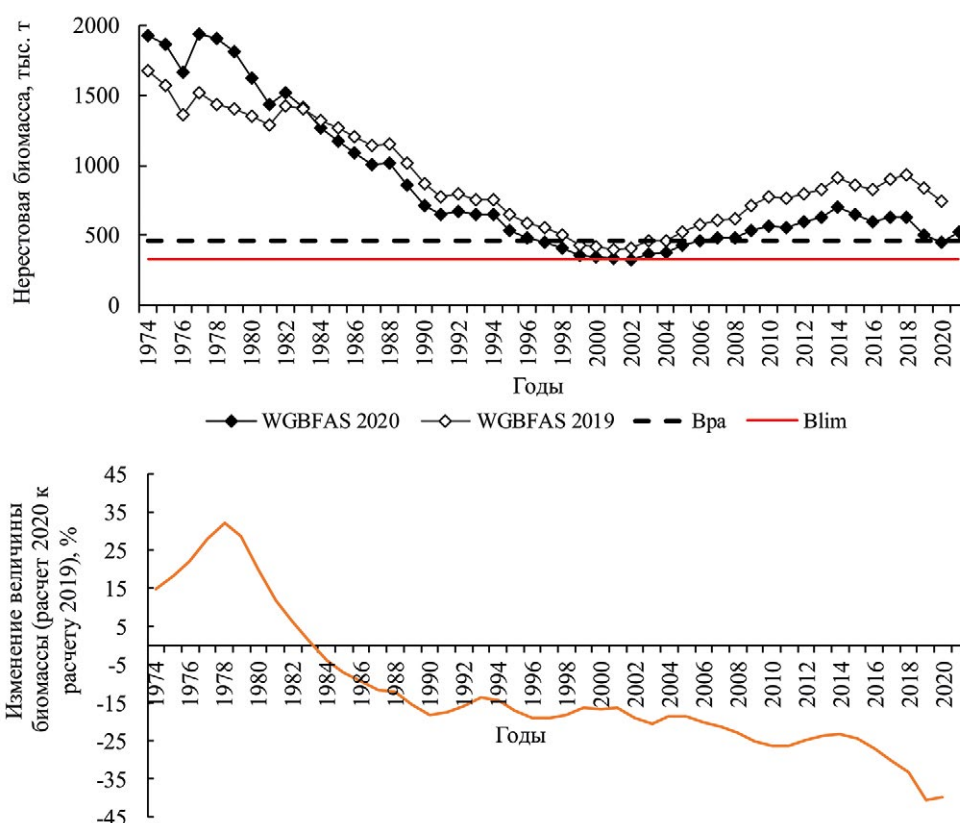


Рис. 8. Нерестовая биомасса сельди Центрального запаса Балтийского моря по данным Рабочих групп ИКЕС WGBFAS 2019 и 2020 гг. за 1974–2021 гг. (верхний). Различия в 2020 г. (в %) по нерестовой биомассе по сравнению с финальным прогнозом на WGBFAS2019 с учётом новых значений естественной и промысловой смертностей (нижний)

Fig. 8. Spawning biomass of Central Baltic herring according to the data of the ICES WGBFAS Working Groups 2019 and 2020 for 1974–2021 (top figure). Differences in WGBFAS2020 (in %) in spawning biomass compared to the final run at WGBFAS 2019, taking into account the new values of natural and fishing mortality (bottom figure)

Таблица 2. Нерестовая биомасса запаса сельди Центральной Балтики в 2021–2030 гг. и её возможный отечественный (РФ) вылов в 2021–2029 гг. по результатам детерминированного долгосрочного моделирования по первому сценарию ($F_{2023-2029} = F_{2018-2020} = 0,47$, уровень последних трёх лет)

Table 2. Spawning stock biomass of the Central Baltic herring in 2021–2030 and its possible Russian catch in 2021–2029 based on the results of deterministic long-term modeling according to the first scenario ($F_{2023-2029} = F_{2018-2020} = 0,47$, level of the last three years)

Показатель	Период, годы	Минимум	Максимум	Среднее	Граничный ориентир нерестовой биомассы	Биомасса предосторожного подхода
Нерестовая биомасса запаса, тыс. т	2021–2025	338	351	352	330 тыс. т	460 тыс. т
	2026...	309	326	315		
Российский вылов, тыс. т	2021–2025	27,2	29,5	28,5		
	2026...	СТОП ПРОМЫСЕЛ				

Таблица 3. Нерестовая биомасса запаса сельди Центральной Балтики в 2021–2030 гг. и её возможный отечественный (РФ) вылов в 2021–2029 гг. по результатам детерминированного долгосрочного моделирования по второму сценарию (оптимальная интенсивность промысла с 2023 г., $F_{MSY} = 0,21$)

Table 3. Spawning stock biomass of the Central Baltic herring in 2021–2030 and its possible Russian catch in 2021–2029 based on the results of deterministic long-term modeling according to the first scenario ($F_{MSY} = 0,21$ since 2023)

Показатель	Период, годы	Среднее	Минимальное	Прирост, % (от минимального к среднему)	Граничный ориентир нерестовой биомассы	Биомасса предосторожного подхода
Нерестовая биомасса запаса, тыс. т	2021–2025	473	365	30	330 тыс. т	460 тыс. т
	2026–2030	652	618	6		
Российский вылов, тыс. т	2021–2025	23,5	18,1			
	2026–2029	26,5	24,9			

жена до уровня 96 тыс. т (соответственно и отечественный вылов – до 18,1 тыс. т.), чтобы обеспечить прирост биомассы от минимального значения к среднему на 30%. В таком случае нерестовая биомасса сельди к 2026 г. превысит значение предосторожного подхода, запас к 2030 г. останется в состоянии полной репродуктивной способности, а ежегодный вылов будет постоянно расти.

Результаты расчётов по третьему сценарию развития ситуации (оптимальная интенсивность промысла на верхней границе с 2023 г., $F_{MSYupper} = 0,26$) по пятилетиям представлены в таблице 4. Промысловая нагрузка в ближайшие годы должна быть снижена до уровня 116 тыс. т (соответственно и отечественный вылов – до 21,9 тыс. т.). Прирост биомассы от минимального значения к среднему составит на 5% меньше.

Таблица 4. Нерестовая биомасса запаса сельди Центральной Балтики в 2021–2030 гг. и её возможный отечественный (РФ) вылов в 2021–2029 гг. по результатам детерминированного долгосрочного моделирования по третьему сценарию (оптимальная интенсивность промысла на верхней границе с 2023 г., $F_{MSYupper} = 0,26$)

Table 4. Spawning stock biomass of the Central Baltic herring in 2021–2030 and its possible Russian catch in 2021–2029 based on the results of deterministic long-term modeling according to the first scenario ($F_{MSYupper} = 0,26$ since 2023)

Показатель	Период, годы	Среднее	Минимальное	Прирост, % (от минимального к среднему)	Граничный ориентир нерестовой биомассы	Биомасса предосторожного подхода
Нерестовая биомасса запаса, тыс. т	2021–2025	457	365	25	330 тыс. т	460 тыс. т
	2026–2030	574	558	3		
Российский вылов, тыс. т	2021–2025	25,5	21,9			
	2026–2029	28,4	27,4			

ше, чем в оценках второго сценария, однако, к 2026 г. её величина также преодолеет порог предосторожного подхода. Запас к 2030 г. останется в состоянии полной репродуктивной способности, а ежегодный вылов будет постоянно расти, причём его стартовые значения и конечные значения, в отличие от второго, более жёсткого по ограничению вылова сценария, будут на 7–8% выше.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время величина запаса сельди Центральной Балтики находится в биологически безопасных пределах, однако размер её нерестовой биомассы к 2020 г. оказался ниже величины предосторожного подхода и всего на 10% выше предельной величины. В ближайшее время следует ожидать снижение объёмов её добычи.

При эксплуатации запаса всеми прибалтийскими странами на уровне последних трёх лет (первый сценарный расчёт) нерестовая биомасса сельди к 2025 г. достигнет критических значений. Запас будет находиться в состоянии потери репродуктивной способности, а промысловую смертность необходимо будет как можно ближе приблизить к нулю.

Опция управления промыслом при втором сценарном расчёте предполагает резкое снижение вылова в 2023 г. на 37% в сравнении с уровнем 2021 г., с последующим его ростом к 2029 г. до текущих значений (в среднем за период 2026–2029 гг. – 26,5 тыс. т). В таком случае нерестовая биомасса сельди к 2026 г. превысит значение предосторожного подхода, а запас к 2030 г. останется в состоянии полной репродуктивной способности.

Наиболее оптимальным является третий сценарный расчёт, при котором темп прироста биомассы запаса в среднем за пятилетие составит всего на 5% меньше, чем в оценках второго сценария, однако, к 2026 г. её величина также преодолеет порог предосторожного подхода и к 2030 г. запас останется в состоянии полной репродуктивной способности. Предполагаемый вылов с 2023 г. снизится на 23% в сравнении с уровнем 2021 г., средний объём добычи в 2021–2025 гг. и 2026–2029 гг. может составить, соответственно, 25,5 и 28,5 тыс. т, т.е. превысит текущий объём.

Прогностические оценки возможного объёма вылова сельди в российской зоне могут служить ориентирами для рыбодобывающих организаций при планировании устойчивости производственных показателей до 2030 г. Однако эффективность промысла сельди в перспективе, величина численности пополнения, объём нерестовой биомассы будут зависеть

от абиотических компонентов среды, численности трески, питающейся мелкоразмерной сельдью, доли прилова молоди сельди при ведении смешанного пелагического промысла, соотношения внутривидовых группировок сельди и их численности.

Увеличение численности внутривидовой группировки морской сельди в запасе, наряду с влиянием абиотических компонент, урожайности поколений и пр., может быть одной из причин довольно неуспешного освоения квот в Калининградском (Вислинском) заливе в последние годы. При этом наличие разных экологических группировок сельди внутри её запаса делает вид более пластичным при изменении состояния окружающей среды и предоставляет стабильную базу для её добычи при ведении промысла на морских акваториях. С учётом неоднородного распределения запаса в последние годы перспективным является ведение специализированного российского промысла вида в 32 подрайоне Балтийского моря.

В условиях высокой чувствительности экосистемы моря на любые внешние воздействия для контроля состояния запаса балтийской сельди, снижения экологических рисков, связанных с промыслом вида, своевременной корректировки ОДУ, важным является проведение научных траловых и акустических съёмок в ИЭЗ РФ Балтийского моря, мониторинга популяционной структуры запаса сельди на регулярной основе.

ЛИТЕРАТУРА

- Амосова В.М., Васильева Т.Г., Зезера А.С. 2018. О перспективах развития отечественного промысла шпрота в Балтийском море до 2025 г. // Труды ВНИРО. Т. 171. С. 39–55.
- Амосова В.М., Зезера А.С., Карпушевская А.И., Карпушевский И.В., Патокина Ф.А., Дмитриева М.А., Винокур М.Л., Шумилова К.Ю. 2017. Биологические и гидрологические компоненты, характеризующие многолетние изменения и современное состояние трески *Gadus morhua callarias* в Балтийском море (Гданьский бассейн, 26-й подрайон ИКЕС) // Вопросы рыболовства. Т. 18. № 1. С. 42–51.
- Бирюков Н.П. 1970. Сельди Балтийского моря. Калининград: АтлантНИРО. 209 с.
- Зезера А.С. 2009. Многолетние изменения абиотических условий в Балтийском море (1975–2007 гг.) // Промыслово-биологические исследования АтлантНИРО в 2006–2007 годах. Т. 1. Балтийское море и заливы. Калининград. С. 6–17.
- Зезера А.С., Иванович В.М. 2011. Изменения климата, абиотических условий и величины запасов основных промысловых видов рыб в Юго-Восточной Балтике в последние десятилетия // Мат. XV конф. по пром. океанологии, посвящённой 150-летию со дня рождения академика Н.М. Книповича. Калининград: Изд. АтлантНИРО. С. 123–126.
- Зезера А.С., Иванович В.М., Патокина Ф.А., Карпушевский И.В., Васильева Т.Г. 2012. Изменения в экосистеме Балтийского моря (Юго-Восточная часть, Гданьский бассейн, 26 подрайон ИКЕС) в последние десятилетия // Тез. докл. XI Всерос. конф.

- по пробл. рыбопромыслового прогнозирования, посвящённой 150-летию со дня рождения академика Н.М. Книповича 22–24 мая 2012 г. Мурманск: Изд-во ПИНРО. С. 28–31.
- Зезера А.С., Амосова В.М., Патокина Ф.А., Карпушевский И.В., Васильева Т.Г., Калинина Н.А. 2014. Результаты интегрированного анализа изменений абиотических условий и величин запасов основных промысловых видов рыб в Балтийском море (юго-восточная часть, Гданьский бассейн, 26 подрайон ИКЕС) // Промыслово-биологические исследования Атлантиро в 2010–2013 годах. Т. 1. Балтийское море и его заливы. Калининград: Изд-во Атлантиро. С. 6–19.
- Карпушевский И.В., Зезера А.С., Иванович В.М. 2013. Адаптационные особенности популяций пелагических и демерсальных рыб в пространственной и временной динамике фактора солёности вод Балтийского моря // Труды ЗИН РАН. Прил. № 3. СПб. С. 128–135.
- Карпушевский И.В., Константинов В.В., Амосова В.М., Зезера А.С., Дмитриева М.А., Карпушевская А.И. 2013. Методическое пособие по сбору и первичной обработке биостатистических материалов на промысловых судах в водах юго-восточной части Балтийского моря. Калининград: Атлантиро, 85 с.
- Оявеер Э.А. 1987. Балтийские сельди (биология и промысел). М.: Агропромиздат, 205 с.
- Труфанова И.С. 2017 а. Размерно-возрастной состав и численность осеннерестующей сельди *Clupea harengus tembras* юго-восточной части Балтийского моря и её значение для российского промысла в 1992–2015 гг. // Труды Атлантиро. Новая серия. Т. 1, № 2. Калининград: Атлантиро. С. 154–165.
- Труфанова И.С. 2017 б. Сезонное распределение российских уловов и размерно-возрастного состава балтийской сельди *Clupea harengus tembras* в 26-м подрайоне ИКЕС Балтийского моря в 1992–2015 годах // Труды Атлантиро. Новая серия. Том 1, № 3. Калининград: Атлантиро. С. 91–107.
- Труфанова И.С. 2018 а. Вылов, динамика численности и возрастной состав уловов балтийской сельди открытого моря в 26-м подрайоне ИКЕС в 2011–2017 годах // Труды ВНИРО. Т. 171. С. 56–67.
- Труфанова И.С. 2018 б. Структура российских промысловых уловов балтийской сельди (салаки) *Clupea harengus tembras* в 26-м подрайоне ИКЕС Балтийского моря в 1992–2015 годах // Вопросы рыболовства. Т. 19. № 2. С. 181–192.
- Amosova V.M., Zezera A.S., Karpushevskaya A.I., Karpushevskiy I.V., Patokina F.A., Dmitrieva M.A. 2016. Integrated analysis of several biological/hydrological components and cod stomach data in the Gdansk Basin of the Baltic Sea // ICES ASC Handbook, Annual Science Conference (ASC), Riga, Latvia, 19–23 September 2016. ICES CM 2016/F:665. P. 32.
- Aro E. 1989. A review of fish migration patterns in the Baltic // Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer. V. 190. P. 72–96.
- Fetter M., Groth B., Kestner D., Wyshinski M. 1992. Guide for the use of Baltic herring otoliths in fisheries studies // Fischerei-Forschung. № 29. P. 18–42.
- Horbowy J., Luzencyk A. 2016. Effects of multispecies and density dependent factors on MSY reference points: Example of the Baltic Sea sprat // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 74. 10.1139/cjfas-2016-0220. R3: 1–27.
- Kompowski A. 1971. The types of otoliths in herring from the Southern Baltic // Prace Morskiego Instytutu Rybackiego. Vol. 16. P. 109–141.
- McCullagh P., Nelder J.A., 1989. Generalized Linear Models, 2nd ed. Chapman & Hall, London. 511 pp.
- MacKenzie B.R., Koster F.W. 2004. Fish production and climate: sprat in the Baltic Sea // Ecology. V. 85. P. 784–794.
- Report of the Baltic Fisheries Assessment Working Group (WGBFAS). 2019. ICES Scientific Reports. 1:20. 651 pp. <http://doi.org/10.17895/ices.pub.5949>
- Report of the Baltic Fisheries Assessment Working Group (WGBFAS). 2020 a. ICES Scientific Reports. 2:45. 643 pp. <http://doi.org/10.17895/ices.pub.6024>
- Report of the Inter-Benchmark Process on Baltic Sprat (*Sprattus sprattus*) and Herring (*Clupea harengus*) (IBPBash). 2020 b. ICES Scientific Reports. 2:34. 44 pp. <http://doi.org/10.17895/ices.pub.5971>
- Report of the ICES Advisory Committee. 2020 c. Herring (*Clupea harengus*) in subdivisions 25–29 and 32, excluding the Gulf of Riga (central Baltic Sea). ICES Advice 2020, her.27.25–2932. <https://doi.org/10.17895/ices.advice.5828>.
- Report of the Working Group on Baltic International Fish Survey (WGBIFS). 2020 d. ICES Scientific Reports. 1:37. 79 pp. <https://doi.org/10.17895/ices.pub.7679>
- Report of the Workshop on age validation studies of small pelagic species (WKVALPEL). 2020 e. ICES Scientific Reports. 2:15. 76 pp. <http://doi.org/10.17895/ices.pub.5966>
- Report of the Baltic Fisheries Assessment Working Group (WGBFAS). 2021 a. ICES Scientific Reports. 3:53. 717 pp. <https://doi.org/10.17895/ices.pub.8187>
- Report of the ICES Advisory Committee. 2021 b. Herring (*Clupea harengus*) in subdivisions 20–24, spring spawners (Skagerrak, Kattegat, and western Baltic). ICES Advice 2021, her 20–24. — her.27.20–24. <https://doi.org/10.17895/ices.advice.7766>
- Report of the Working Group on Baltic International Fish Survey (WGBIFS; outputs from 2020 meeting). 2021 c. ICES Scientific Reports. 3:02. 539 pp. <https://doi.org/10.17895/ices.pub.7679>
- Shepherd J.G. 1997. Prediction of year-class strength by calibration regression analysis of multiple recruit index series // ICES Journal of Marine Science. Vol. 54. P. 741–752.
- Popiel J. 1958. Differentiation of the biological groups of herring in the Baltic // Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer. Vol. 143. P. 114–121.
- Popiel J. 1984. On the biology of the Baltic Herring // Reports of the Sea Fisheries Institute Gdynia. № 19. P. 1–7.
- Sparre P. 1991. Introduction to multispecies virtual population analysis // ICES mar. Sei. Symp., 193. P. 12–21.

REFERENCES

- Amosova V.M., Vasil'eva T.G., Zezera A.S. 2018. Prospects of development of domestic sprat fishery in the Baltic Sea 2025 // Trudy VNIRO. Vol. 171. P. 39–55. (In Russ.).
- Amosova V.M., Zezera A.S., Karpushevskaya A.I., Karpushevskiy I.V., Patokina F.A., Dmitrieva M.A., Vinokur M.L., Shumilova K. Yu. 2017. Biological and hydrological components describing the long-term changes and the current state of cod *Gadus morhua* callarias in the Baltic Sea (Gdansk basin, subdivision ICES26) // Problems of fisheries. Vol. 18. № 1. P. 42–51. (In Russ.).
- Biryukov N.P. 1970. Herring in the Baltic Sea. Kaliningrad: AtlantNIRO. 209 pp. (In Russ.).
- Zezera A.S. 2009. Long-term Changes of the Abiotic Conditions in the Baltic Sea (1975–2007) // Fisheries and Biological

- Research by AtlantNIRO in 2006–2007. Vol. 1. The Baltic Sea and Lagoons. Kaliningrad. P. 6–17. (In Russ.).
- Zezera A.S., Ivanovich V.M. 2011. Changes in climate, abiotic conditions and stocks of the main commercial fish species in the Southeast Baltic in recent decades // Proceedings of XV conf. on fishing oceanology, dedicated to the 150th anniversary of the birth of Academician N.M. Knipovich. Kaliningrad: AtlantNIRO Press. P. 123–126. (In Russ.).
- Zezera A.S., Ivanovich V.M., Patokina F.A., Karpushevskiy I.V., Vasilyeva T.G. 2012. Changes in the ecosystem of the Baltic Sea (southeastern part, the Gdansk basin, 26 ICES subdivision) in recent decades // Proceedings of XI conf. of fish forecasting problems, dedicated to the 150th anniversary of the birth of Academician N.M. Knipovich. 22–24 may 2012. Murmansk: PINRO Press. P. 28–31. (In Russ.).
- Zezera A.S., Amosova V.M., Patokina F.A., Karpushevskiy I.V., Vasilyeva T.G., Kalinina N.A. 2014. Results of integrated analysis of changes in abiotic conditions and stocks values of main commercial fish species in the Baltic Sea (south-eastern part, the Gdansk Basin, ICES subdivision 26) // Fisheries and Biological Research by AtlantNIRO in 2010–2013. Vol.1. The Baltic Sea and Lagoons. Kaliningrad. Trudy AtlantNIRO. P. 6–19. (In Russ.).
- Karpushevskiy I.V., Zezera A.S., Ivanovich V.M. 2013. Adaptive features of populations pelagic and demersal fish in the spatial and temporal dynamics salinity waters factor of the Baltic Sea // Proceedings of the ZIN RAN. Supplement № 3. SPb. P. 128–135. (In Russ.).
- Karpushevskiy I.V., Konstantinov V.V., Amosova V.M., Zezera A.S., Dmitrieva M.A., Karpushevskaya A.I. Methodological manual for the collection and primary processing of biostatistical materials on fishing vessels in the waters of the southeastern part of the Baltic Sea. Kaliningrad: AtlantNIRO, 2013. 85 pp. (In Russ.).
- Ojaveer E.A. 1987. The Baltic Herrings (biology and fishery). M.: Agropromizdat, 205 pp. (In Russ.).
- Trufanova I.S. 2017 a. Age-length composition and abundance of the autumn-spawning herring *Clupea harengus membras* of the southeast Baltic and its significance for the Russian fishery in 1992–2015 // Trudy AtlantNIRO. New series. Vol. 1, № 2. Kaliningrad: AtlantNIRO. P. 154–165. (In Russ.).
- Trufanova I.S. 2017 b. Seasonal distribution of the Russian catches and age-length composition of Baltic herring *Clupea harengus membras* in the ICES subdivision 26 of the Baltic Sea in 1992–2015 // Trudy AtlantNIRO. New series. Vol. 1, № 3. Kaliningrad: AtlantNIRO. P. 91–107. (In Russ.).
- Trufanova I.S. 2018 a. Catch, abundance dynamics, and age structure of the open-sea Baltic herring in the ICES subdivision 26 in 2011–2017 // Trudy VNIRO. V. 171. P. 56–67. (In Russ.).
- Trufanova I.S. 2018 b. Structure of the Russian commercial Baltic herring *Clupea harengus membras* catches in the 26th ICES subdivision of the Baltic Sea in 1992–2015 // Problems of fisheries. V. 19. № 2. P. 181–192. (In Russ.).
- Amosova V.M., Zezera A.S., Karpushevskaya A.I., Karpushevskiy I.V., Patokina F.A., Dmitrieva M.A. 2016. Integrated analysis of several biological/hydrological components and cod stomach data in the Gdansk Basin of the Baltic Sea // ICES ASC Handbook, Annual Science Conference (ASC), Riga, Latvia, 19–23 September 2016. ICES CM 2016/F:665. P. 32.
- Aro E. 1989. A review of fish migration patterns in the Baltic // Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer. V. 190. P. 72–96.
- Fetter M., Groth B., Kestner D., Wyshinski M. 1992. Guide for the use of Baltic herring otoliths in fisheries studies // Fischerei-Forschung. № 29. P. 18–42.
- Horbowy J., Luzencyk A. 2016. Effects of multispecies and density dependent factors on MSY reference points: Example of the Baltic Sea sprat // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 74. 10.1139/cjfas-2016-0220. R3: 1–27.
- Kompowski A. 1971. The types of otoliths in herring from the Southern Baltic // Prace Morskiego Instytutu Rybackiego. Vol. 16. P. 109–141.
- McCullagh P., Nelder J.A., 1989. Generalized Linear Models, 2nd ed. Chapman & Hall, London. 511 pp.
- MacKenzie B.R., Koster F.W. 2004. Fish production and climate: sprat in the Baltic Sea // Ecology. V. 85. P. 784–794.
- Popiel J. 1958. Differentiation of the biological groups of herring in the Baltic // Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer. Vol. 143. P. 114–121.
- Popiel J. 1984. On the biology of the Baltic Herring // Reports of the Sea Fisheries Institute Gdynia. № 19. P. 1–7.
- Report of the Baltic Fisheries Assessment Working Group (WGBFAS). 2019. ICES Scientific Reports. 1:20. 651 pp. <http://doi.org/10.17895/ices.pub.5949>
- Report of the Baltic Fisheries Assessment Working Group (WGBFAS). 2020 a. ICES Scientific Reports. 2:45. 643 pp. <http://doi.org/10.17895/ices.pub.6024>
- Report of the Inter-Benchmark Process on Baltic Sprat (*Sprattus sprattus*) and Herring (*Clupea harengus*) (IBPBash). 2020 b. ICES Scientific Reports. 2:34. 44 pp. <http://doi.org/10.17895/ices.pub.5971>
- Report of the ICES Advisory Committee. 2020 c. Herring (*Clupea harengus*) in subdivisions 25–29 and 32, excluding the Gulf of Riga (central Baltic Sea). ICES Advice 2020, her.27.25–2932. <https://doi.org/10.17895/ices.advice.5828>.
- Report of the Working Group on Baltic International Fish Survey (WGBIFS). 2020 d. ICES Scientific Reports. 1:37. 79 pp. <https://doi.org/10.17895/ices.pub.7679>
- Report of the Workshop on age validation studies of small pelagic species (WKVALPEL). 2020 e. ICES Scientific Reports. 2:15. 76 pp. <http://doi.org/10.17895/ices.pub.5966>
- Report of the Baltic Fisheries Assessment Working Group (WGBFAS). 2021 a. ICES Scientific Reports. 3:53. 717 pp. <https://doi.org/10.17895/ices.pub.8187>
- Report of the ICES Advisory Committee. 2021 b. Herring (*Clupea harengus*) in subdivisions 20–24, spring spawners (Skagerrak, Kattegat, and western Baltic). ICES Advice 2021, her 20–24. – her.27.20–24. <https://doi.org/10.17895/ices.advice.7766>
- Report of the Working Group on Baltic International Fish Survey (WGBIFS; outputs from 2020 meeting). 2021 c. ICES Scientific Reports. 3:02. 539 pp. <https://doi.org/10.17895/ices.pub.7679>
- Sparre P. 1991. Introduction to multispecies virtual population analysis // ICES mar. Sei. Symp., 193. P. 12–21.

Поступила в редакцию 08.09.2021 г.
Принята после рецензии 17.12.2021 г.

Водные биологические ресурсы

Видовой состав и распределение ранней молоди рыб в период покатных миграций в среднем течении р. Ока

А.Д. Быков

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»), Окружной проезд, 19, Москва, 105187
E-mail: 89262725311@mail.ru

Целью работы является проведение исследований по оценке естественного воспроизводства рыб в русловой зоне реки Оки в летний период 2019 г. в границах Рязанской области.

Используемые методы: при сборе материала по скату личинок рыб применяли метод учёта дрифта с использованием ихтиопланктонных ловушек.

Новизна: впервые за период ихтиологических исследований в среднем течении Оки проводились учётные съёмки по оценке видового разнообразия рыб на ранних этапах развития.

По **результатам** учёта ранней молоди рыб в период покатных миграций установлена видовая структура и количественные показатели концентрации (экз./100м³) ихтиопланктона в речном дрифте. Рассматривается вопрос встречаемости отдельных видов и экологических групп ранней молоди рыб в зависимости от гидрологических показателей русла реки, по сравнению с результатами предыдущих исследований, проведённых на участках верхнего течения Оки в 2015 г. Показана взаимосвязь видовой структуры и величины уловов со скоростью течения и глубиной постановки ихтиопланктонных ловушек.

Практическая значимость: по видовой структуре и количественным показателям концентрации ихтиопланктона в речном дрифте возможно прогнозировать динамику численности промысловых видов рыб на плёсовых и перекатистых участках среднего течения Оки.

Ключевые слова: р. Ока, покатные миграции, ранняя молодь рыб, структура уловов.

Species composition and distribution of early juvenile fish in the period of sloping migrations in the middle course of the Oka River

Andrey D. Bykov

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

The aim of the work is to conduct research to assess the natural reproduction of fish in the channel zone of the Oka River in the summer of 2019 within the boundaries of the Ryazan region.

Methods used: when collecting material on the ramp of fish larvae, the method of drift accounting using ichthyoplankton traps was used. **Novelty:** for the first time during the period of ichthyological studies in the middle course of the Oka, accounting surveys were conducted to assess the species diversity of fish at early stages of development.

Based on the results of accounting for early juvenile fish during the period of rolling migrations, the species structure and quantitative indicators of the concentration (ex./100m³) of ichthyoplankton in the river drift were established. The issue of the occurrence of individual species and ecological groups of early juvenile fish is considered depending on the hydrological indicators of river biotopes of the riverbed, compared with the results of previous studies conducted on the upper reaches of the Oka River in 2015. The interrelation of the species structure and the size of catches with the flow velocity and depth of setting of ichthyoplankton traps is shown.

Practical significance: based on the species structure and quantitative indicators of ichthyoplankton concentration in the river drift, it is possible to predict the dynamics of the number of commercial fish species in the mold and rolling areas of the middle Oka River.

Keywords: Oka river, sloping migrations, early juvenile fish, catch structure.

ВВЕДЕНИЕ

Механизм покатных миграций ранней молоди рыб и особенности ската отдельных видов подробно изучен в верховьях р. Волги и её малых притоках (Большая Коша и Держа) [Павлов и др., 1981, 2007], а также в нижнем её течении и дельте [Павлов и др. 1996; Тарадина, и др., 1997; Вещев, и др., 2012]. Од-

нако на незарегулированных плотинами основных притоках таких исследований практически не проводилось.

В верховьях крупнейшего правого притока Волги — Оки в 2015 г. были проведены рекогносцировочные работы по установлению видовой структуры ранней молоди рыб на разных по гидрологическому

режиму русловых участках в границах Тульской и Калужской областей и были определены количественные показатели её ската в период покатных миграций [Митенков, Быков, 2017].

Особый интерес вызывает изучение особенностей естественного воспроизводства рыб Оки в условиях маловодных лет и повышенной антропогенной нагрузки на её водосборный бассейн, приводящих к изменениям структуры ихтиоценоза реки [Иванчев, Иванчева, 2010].

Целью данной работы является продолжение исследований по установлению видовой структуры ранней молоди рыб р. Оки в период покатных миграций, закономерностей её биотопического распределения и определение количественных показателей её ската в среднем течении реки.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Исследования эффективности естественного воспроизводства рыб проводили в июне 2019 г. на участках среднего (5 станций) и нижнего (1 станция) течения р. Оки в пределах Рязанской области (рис. 1). Названия участков реки соответствует муниципальным районам Рязанской области, в границах которых проводили исследования. При сборе материала по скату личинок применяли метод учёта дрифта (Павлов и др., 1981; Богданов, 1987). Для отлова ранней молоди рыб в русле р. Оки использовали ихтиопланктонные ловушки длиной 2,5 м с размером входного окна равном 0,7 м² изготовленного из газ-ситы № 11. Установку ихтиопланктонных ловушек на шести учётных станциях производили по створу реки на якорях по левому и правому берегам и середине водотока на сутки с регулярной очисткой от мусора и изъятием уловов. Периодичность проверки ловушек составляла от 4 до 6 раз в сутки. Улов на одной станции усреднялся по уловам трёх ловушек. Всего были обработаны уловы из 18 ловушек.

Пойманных личинок рыб фиксировали в растворе этилового спирта для дальнейшей идентификации в лабораторных условиях. Определение вида личинок рыб и этапов их онтогенеза осуществляли по традиционным методикам [Коблицкая, 1981; Макеева, и др., 2011]. Длину ранней молоди рыб измеряли при помощи бинокуляра МБС-10, с точностью до 0,5 мм. Всего было идентифицировано 1,74 тыс. личинок и мальков рыб.

Для определения количественных показателей ската ранней молоди в среднем и нижнем течении Оки проводили измерение скоростей течения руслового потока с помощью гидрометрической вертушки (ГР-99). Для оценки концентрации покатной моло-

ди в потоке использовали формулу, предложенную Д.С. Павловым (1981).

$$M_{100} = m \cdot 100 / Q,$$

где $Q = V \cdot S \cdot t$; M_{100} — концентрация рыб в 100 м³; m — среднее число рыб в пробах за расчётный период времени; Q — расход профильтрованной через ловушку воды (м³/сек); S — площадь входного окна ловушки (м²); V — скорость течения в месте постановки ловушки (м/сек); t — время лова (сек).

Сравнение видового состава покатной молоди рыб на разных учётных станциях проводили с использованием индексов видового разнообразия [Одум, 1986].

Индекс Шеннона-Уивера:

$$H = \sum (n_i / N) \log(n_i / N);$$

Индекс видового богатства Маргалефа (DMg):

$$D_{Mg} = (S - 1) / \ln N,$$

где n_i — численность (доля) i -го вида; N — численность всех видов; S — число видов в выборке.

Сходство видового состава покатной молоди на участках верхнего (Митенков, Быков, 2016) и среднего течения р. Оки оценивали с использованием коэффициентов Жаккара:

$$K_j = c / a + b - c;$$

и Серенсена:

$$K_s = 2c / a + b,$$

где a — количество (учтённых) видов в верхнем течении реки; b — количество видов в среднем течении реки; c — количество общих видов в верхнем и среднем течении реки.

Ловушки устанавливали стационарно на дно в русловом потоке, на шести учётных станциях (рис. 1). Скорость течения в местах постановки ловушек изменялась от 0,3 до 0,8 м/сек, а глубины колебались от 1 до 6,5 м. Донный субстрат на большинстве станций был представлен песком, а на плёсовых Рязанском и Спасском участках — заиленным песком с примесью ракушки.

Характеристика условий среды обитания рыб в русле р. Оки в местах постановки ихтиопланктонных ловушек представлена в табл. 1.

Для характеристики относительной численности (встречаемости) видов ранней молоди рыб в структуре ихтиопланктона Оки использовали упрощённую градацию встречаемости рыб на основе осреднённых показателей их доли в уловах. К редким и малочисленным относили рыб, встречаемость которых состав-



Рис. 1. Карта-схема учётных станций на р. Оке в границах Рязанской области в 2019 г.

Fig. 1 Map-scheme of accounting stations on the river Oka within the borders of the Ryazan region in 2019

Таблица 1. Характеристика условий среды на учётных станциях в русловой зоне среднего течения р. Оки в июне 2019 г.

Table 1. Characteristics of the environmental conditions at the recording stations in the channel zone of the middle course of the river. Oki in June 2019

Участок реки	Название станции	№ станции	Расположение ловушек по створу	Глубина, м	Ширина русла по створу, м	Характер дна	$V_{\text{течения}}, \text{ м/сек}$	Биотоп
Рыбновский	р-он с. Новоселки	1	левый берег	1,8		песок	0,6	Пережат
			середина	2,7	230	песок	0,7	
			правый берег	1,7		песок	0,5	
Рязанский	р-он с. Кораблино	2	правый берег	3,5		песок, ил	0,3	Плес
			середина	4,5	160	песок, ил	0,4	
			левый берег	6,5		песок, ил	0,5	
Спасский	р-н д. Фатьяновка	3	правый берег	3,5		песок, ракушка	0,4	Плес
			середина	5	240	песок, ракушка	0,4	
			левый берег	4,4		песок, ракушка	0,3	
Шиловский	р-он дер. Свинчус	4	правый берег	5		песок	0,6	Плес
			середина	5,5	170	песок	0,6	
			левый берег	5		песок	0,4	
Касимовский	р-он с. Клетино	5	правый берег	3,5		песок	0,8	Плес
			середина	1	350	песок	0,3	
			левый берег	4		камни	0,8	
Меленковский	ниже пос. Елатьма	6	правый берег	1		песок	0,6	Пережат
			середина	1,9	360	песок	0,8	
			левый берег	1,3		песок	0,7	

ляла $\leq 1\%$; к обычным и многочисленным — 1–10%; к доминантам — $\geq 10\%$ [Терещенко, Надилов, 1996; Иванчев, Иванчева, 2010].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Всего в ихтиопланктонных ловушках на исследованных участках р. Оки за период съёмки в июне 2019 г. был зафиксирован 21 вид костистых рыб, относящихся к трём отрядам и шести семействам: Cyprinidae (13 видов), Percidae (4 вида), Gobidae (2 вида), Lotidae (1 вид), Cobitidae (1 вид).

Наиболее массовыми видами в период покатных миграций в среднем течении р. Оки были речной окунь *Perca fluviatilis* (L., 1758), белопёрый пескарь *Romanogobio albipinnatus* Lukasch, 1933 и обыкновенный елец *Leuciscus leuciscus* (L., 1758), которые составляли суммарно 82,9% всей покатной молоди (табл. 2). Эти виды присутствовали в разном соотношении на всех учётных станциях. Супердоминантом по численности в уловах окунь был на Касимовском и Спасском плёсовых участках реки.

Таблица 2. Видовая структура и концентрация покатной молоди рыб на разных участках среднего течения р. Оки в июне 2019 г.

Table 2. Species structure and concentration of sloping juvenile fish in different sections of the middle course of the river. Oki in June 2019

Участок реки, название стан- ции	Рыбновский, с.Новоселки		Рязанский д. Кораблино		Спасский, д. Фатьяново		Шиловский, д. Свинчус		Касимовский, ниже д.Клетино		Меленковский, ниже пос. Елатьма		Средние зна- чения	
Вид	экз./100 м ³	%	экз./100 м ³	%	экз./100 м ³	%	экз./100 м ³	%	экз./100 м ³	%	экз./100 м ³	%	экз./100 м ³	%
Белоглазка									0,60		0,02	1,30	$\leq 0,01$	0,32
Берш							$\leq 0,01$	0,20			$\leq 0,01$	0,17	$\leq 0,01$	0,06
Бычок- кругляк	0,31	35,07	0,03	2,67	0,02	1,40	0,03	4,90	$\leq 0,01$	0,60	$\leq 0,01$	0,33	0,065	7,49
Голавль	0,03	2,27	0,01	2,27			0,01	0,40	$\leq 0,01$	1,13	0,11	6,20	0,027	2,04
Густера			0,01	1,50			$\leq 0,01$	0,20	0,02	1,77			$\leq 0,01$	0,58
Елец	0,39	22,90	0,10	14,43	0,14	19,97	0,06	11,63	0,03	8,47	0,27	18,13	0,167	15,92
Ёрш	0,06	4,13	$\leq 0,01$	0,37			0,03	2,90	0,01	0,87	0,03	2,03	0,022	1,72
Жерех			$\leq 0,01$	0,80					0,01	1,80			$\leq 0,01$	0,43
Карась серебряный							0,01	0,40					$\leq 0,01$	0,07
Лещ							$\leq 0,01$	0,20	$\leq 0,01$	0,60	0,01	0,50	$\leq 0,01$	0,22
Линь							$\leq 0,01$	0,20					$\leq 0,01$	0,03
Налим	0,01	0,9					$\leq 0,01$	0,30			$\leq 0,01$	0,17	$\leq 0,01$	0,23
Окунь речной	0,19	19,63	0,29	40,47	0,53	63,07	0,42	42,10	0,62	68,97	0,49	30,77	0,43	44,17
Пескарь белопёрый	0,14	13,23	0,21	32,50	0,11	12,60	0,33	28,87	0,15	12,87	0,59	36,57	0,25	22,77
Плотва							$\leq 0,01$	0,20	0,05	2,33	0,01	0,83	0,01	0,56
Пуголовка					0,01	1,17	0,01	2,40					$\leq 0,01$	0,59
Синец											$\leq 0,01$	0,17	$\leq 0,01$	0,03
Судак	0,02	1,43	0,04	4,97	0,02	1,80	0,02	1,70			0,02	1,40	0,02	1,88
Уклейка	0,01	0,47									0,01	0,47	$\leq 0,01$	0,16
Щиповка							0,03	3,20					$\leq 0,01$	0,53
Язь							$\leq 0,01$	0,2			0,01	0,97	$\leq 0,01$	0,19
Всего:	1,15	100	0,71	100	0,83	100	0,97	100	0,89	100	1,58	100	1,02	100
Всего видов:	9		9		6		17		10		14		21	
H'	2,36		2,11		1,53		2,35		1,65		2,30		2,35	
D _{Mg}	1,61		1,55		0,97		2,78		1,84		2,15		2,68	

Типичными видами в структуре покатной молодежи были бычок-кругляк *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814), голавль *Squalius cephalus* L., 1758, ёрш *Gymnocephalus cernuus* (L., 1758), судак *Sander lucioperca* (L., 1758). Их суммарная доля в период ската составляла 13,1% (табл. 2). По встречаемости большинства других представителей покатной молодежи (14 видов) составляющей менее 1% для каждого вида от общего улова ловушек, возможно, предположить о меньшем значении покатных миграций в жизненном цикле этих видов на ранних этапах онтогенеза не связанных с их численностью в реке. Сходный характер невысокой встречаемости в структуре покатной молодежи для группы лимнофильных видов в низовьях и дельте р. Волге отмечали и другие исследователи [Павлов, и др. 1981; Тарадина, и др., 1997].

Значения показателей индекса Шеннона (H') и Магалефа (D_{Mg}) характеризуют более высокое видовое разнообразие на станциях расположенных на перекатах (у с. Новоселки и ниже пос. Елатьма) и в районе сужения русла реки (у д. Свинчус) как за счёт боль-

шего количества реофильных видов на перекатах, по сравнению с плёсами, так и из-за смешивания покатной молодежи мигрирующей в медиальной и рипальной зонах реки при уменьшении ширины русла. Высокая степень отрицательной корреляции между шириной русла и видовым разнообразием уловов ихтиопланктонных ловушек была установлена ранее в верхнем течении Оки [Митенков, Быков, 2016].

В уловах ловушек была зафиксирована ранняя молодежь рыб на стадии поздних личинок и ранних мальков [Коблицкая, 1981]. Основная масса личинок находилась на этапе развития D_2 – 85% (табл. 3). Наиболее широкий диапазон размерно-весовых показателей у личинок и мальков был зафиксирован у бычка-кругляка и наиболее массовых видов – ельца, окуня и белопёрого пескаря.

ОБСУЖДЕНИЕ

Экологическая структура ихтиофауны среднего течения р. Оки по отношению к нерестовому субстрату представлена фитофилами (17 видов), литофилами

Таблица 3. Средние показатели длины, массы и пределы их значений для покатной молодежи рыб в среднем течении Оки

Table 3. Average values of length, mass and limits of their values for sloping juvenile fish in the middle Oka river

Вид	Длина, мм		Масса, г		Стадия развития	n
	средняя	lim	средняя	lim		
Белоглазка	20,7	16–22	0,06	0,03–0,08	D_2 -F	10
Берш	21	16–26	0,06	0,03–0,1	D_2	2
Бычок-кругляк	23,3	7,0–50	0,2	≤0,01–1,2	C_2 -G	66
Голавль	23,5	12,0–35	0,09	0,01–0,3	D_2 -G	55
Густера	22,7	19,0–38	0,1	0,04–0,39	D_2 -G	7
Елец	17,4	9,0–30	0,04	0,005–0,16	C_2 -F	262
Ерш	18,3	11,0–24	0,05	0,01–0,12	D_2 -F	35
Жерех	22,8	12,0–35	0,1	0,05–0,18	D_2 -F	4
Карась серебряный	16	16,0–16	0,04	0,04–0,04	D_2	2
Лещ	31,7	17,0–56	0,31	0,03–0,92	D_2 -G	6
Линь	20		0,05		D_2	1
Налим	27	14,0–35	0,21	0,01–0,35	D_2 -G	3
Окунь	17,2	8,0–30	0,03	0,007–0,26	C_2 -G	713
Пескарь белопёрый	16,3	9,0–56	0,03	0,006–1	C_2 -G	479
Плотва	22,4	17,0–44	0,09	0,02–0,59	D_2 -F	14
Пуголовка звёздчатая	7	6,0–8	0,006	0,005–0,009	C_2	8
Синец	18		0,04		D_2	1
Судак	18,1	9,0–35	0,06	0,01–0,26	C_2 -G	50
Уклейка	25,5	25–27	0,15	0,13–0,18	F	3
Щиповка	15,9	12,0–19	0,02	0,01–0,03	D_2 -F	10
Язь	21,7	15,0–26	0,09	0,02–0,15	D_2 -F	7

и псаммо-литофилам (12 видов), индифферентных к субстрату (2 вида), пелагофилов (3 вида) [Иванчев, Иванчева, 2016]. В уловах ихтиопланктонных ловушек 2019 г. была зафиксированы ранняя молодь около половины видового состава фитофилов, 70% литофилов и псаммофилов. Индифферентные к субстрату виды окуневых (речной окунь и судак) составляли 46% от всех пойманных личинок (табл. 2). Покатная молодь пелагических аборигенных (чехонь) и инвазивных (толстолобики и белый амур) видов в уловах ловушек отсутствовала.

Для более наглядной характеристики покатных миграций молоди в р. Оке сравним полученные результаты 2019 г. с предыдущими исследованиями [Митенков, Быков, 2016].

В среднем течении р. Оки при сходном объёме собранного материала с данными по Верхней Оке за

2015 г. был зафиксирован 21 вид рыб из 6 семейств, а на Верхней Оке – 19 видов из 5 семейств. Доля карповых на Средней Оке (14 видов) составляла 66,7%, на Верхней (14 видов) – 73,6%; окуневых (4 вида) на Средней Оке – 9%; на Верхней Оке соответственно 15,7%. В среднем течении р. Оки значение других семейств в видовой структуре покатной молоди было выше (24,3%), чем в верхнем (10,7%). На исследованных участках среднего течения в уловах ловушек не встречены красноперка, волжский подуст и обыкновенный сом, а в верхнем течении отсутствовали берш, серебряный карась, звездчатая пуголовка, синец и обыкновенная щиповка (табл. 4).

Сравнение усреднённых по станциям значений уловов покатной молоди в верхнем [Митенков, Быков, 2016] и среднем течении реки по показателям коэффициентов Жаккара (0,74) и Серенсена (0,95) по-

Таблица 4. Концентрация и структура ранней молоди в речном дрефте в период покатных миграций в верхнем и среднем течении р. Оки

Table 4. Concentration and structure of early juveniles in river drift during sloping migrations in the upper and middle reaches of the Oka River

Участок реки, год	Верхняя Ока, 2015		Средняя Ока, 2019	
Вид	экз./100 м ³	%	экз./100 м ³	%
Белоглазка	0,1	5,7	≤0,01	0,32
Берш			≤0,01	0,06
Бычок – кругляк	0,01	0,6	0,065	7,49
Голавль	0,18	10,3	0,027	2,04
Густера	≤0,01	0,2	≤0,01	0,58
Елец	0,14	8,0	0,167	15,92
Ёрш	0,05	2,9	0,022	1,72
Жерех	0,02	1,1	≤0,01	0,43
Карась серебряный			≤0,01	0,07
Красноперка	≤0,01	0,1		
Лещ	0,1	5,7	≤0,01	0,22
Линь	≤0,01	0,1	≤0,01	0,03
Налим	≤0,01	0,2	≤0,01	0,23
Окунь речной	0,03	1,7	0,43	44,17
Пескарь белопёрый	0,67	38,6	0,25	22,77
Плотва	0,2	11,6	0,01	0,56
Подуст волжский	0,03	1,7		
Пуголовка			≤0,01	0,59
Синец			≤0,01	0,03
Сом европейский	≤0,01	0,6		
Судак	0,04	2,3	0,02	1,88
Уклейка	0,1	5,7	≤0,01	0,16
Щиповка			≤0,01	0,53
Язь	0,05	2,9	≤0,01	0,19
Всего:	1,74	100	1,02	100

казало высокое сходство видового состава покатной молодежи из-за сходных биотопов (песчаные перекаты) в местах постановок большинства ловушек.

Большая доля относительной численности представителей реофильной экологической группы (белоглазка, голавль, елец, жерех, белопёрый пескарь, волжский подуст) в структуре покатной молодежи типичная для равнинных рек Европы характерна и для верхнего течения Оки (65,4%), по сравнению с ее средним течением — 41,5%.

По встречаемости отдельных видов в период покатных миграций различия были ещё более существенны. Так если в состав доминирующей группы покатников (с встречаемостью $\geq 10\%$) в верхнем течении реки входили белопёрый пескарь, плотва и голавль (60,5%), то в среднем течении реки наибольшую встречаемость формировали речной окунь, белопёрый пескарь и елец (82,9% всей покатной молодежи). Встречаемость доминанта русловой зоны Оки — белопёрого пескаря на Верхней Оке в 2015 г. по сравнению со средним течением в 2019 г. была в среднем в два раза выше (38,6% и 22,8% соответственно), а его концентрация в речном дрефте различалась в три раза (0,67 и 0,24 экз./100 м³). Вероятнее всего, более высокие показатели встречаемости и концентрации пескаря в верхнем течении реки объясняются большей площадью перекатов как основного биотопа этого вида, по сравнению со средним течением.

Характерной особенностью среднего течения реки является значительно более высокая (на порядок выше) по сравнению с верховьями реки встречаемость инвазивных видов из семейства Бычковые. Также существенным отличием структуры ранней молодежи в речном дрефте среднего течения реки по сравнению с верхним является доминирование речного окуня на большинстве учётных станций. В уловах сетных орудий лова доля окуня в среднем по Оке довольно низкая, и сокращается от верховьев реки к среднему течению [Быков, Митенков, 2018, Быков, Митенков, 2019].

Сходной чертой структуры покатной молодежи как в верхнем, так и особенно в среднем течении реки является крайне низкая встречаемость массовых фитофильных видов в русловом потоке, формирующих основную долю ихтиомассы в русле Оки — леща, плотвы и густеры (табл. 4).

Несмотря на то, что по суточному ритму нерестовых миграций лещ и вобла Д.С. Павловым (1981) были отнесены к рыбам с дневным типом миграции, а густера — к сумеречному, эти виды днём и вечером в уловах отсутствовали совсем. Сходный характер суточного ритма нерестовых миграций у этих видов

был характерен и в верхнем течении Оки. Вероятнее всего, специфика покатных миграций у молодежи этих видов в условиях большей прозрачности воды в Оке по сравнению с дельтой Волги и мелководностью её русла характеризуется смещением суточного ритма на тёмное время суток. Кроме того, уловы плавных сетей в дневное время на тоневых участках русла среднего течения р. Оки свидетельствуют об относительно невысокой концентрации леща и плотвы в русле реки, по сравнению с участками верхнего течения реки [Быков, и др., 2018; Быков, Митенков, 2019]. Также необходимо отметить, что из-за многолетних низких паводков весной и браконьерства, на протяжении 2000–2010 гг. XXI века наблюдалась депрессия численности леща в среднем течении Оки и сравнивая динамику уловов на усилии численность его популяции по сравнению с 1970-ми годами XX века снизилась в три раза [Иванчев, Иванчева, 2010]. Что касается низкой встречаемости личинок плотвы, в среднем течении р. Оки, то это объясняется в значительной степени её приуроченностью не к основному руслу реки, как в верхнем течении, а преимущественно к водоёмам придаточной системы реки и относится по классификации Д.С. Павлова (2007) при дифференциации молодежи к прибрежной (немигрирующей) группировке. Обловы кольцевыми сетями стариц р. Оки в границах Рязанской области, показали абсолютное доминирование плотвы в них по численности и биомассе.

В малых притоках Верхней Волги (реки Большая Коша и Держа), где основу ранней молодежи рыб (75–95%) составляли личинки плотвы, наиболее интенсивная их миграция наблюдалась в сумерках при освещении менее 1 лк. Причём концентрация личинок плотвы в этот период была в несколько раз выше в закрытом побережье (среди макрофитов), по сравнению с русловым потоком [Павлов, и др., 2007].

Что касается учёта инвазивных видов в уловах ловушек, то наиболее высокую встречаемость на Рыбновском участке реки имел бычок-кругляк, широко распространённый сейчас по всей реке саморасселенец [Королев, Решетников, 2008; Иванчев, Иванчева, 2010; Быков, Митенков, 2019]. Другой бычок, обычный в рипали ниже по течению от г. Касимова — бычок-цуцик *Proterorhinus marmoratus* (Pallas, 1814), в уловах не зафиксирован. Звездчатая пуголовка *Benthophilus stellatus* (Sauvage, 1874), редкий для среднего течения Оки вид [Иванчев, Иванчева, 2010] была зафиксирована на глубоких (3,5–5 м) плесовых Спасском и Шиловском участках реки. Единичную встречаемость на Шиловском участке реки имел также серебряный карась *Carassius gibelio* (Bloch, 1782).

Естественное воспроизводство стерляди *Acipenser ruthenus* L., 1758, массовое зарыбление которой уже в течение длительного периода проводится по всей р. Оке [Быков, 2017] при учёте ската молоди также, как и в верхнем течении [Митенков, Быков, 2016] зафиксировано не было. Однако в уловах плавных сетей в июне 2018 г. стерлядь «заводского происхождения» доминировала по встречаемости и по массе на всех учётных станциях [Быков, Палатов, 2019].

При рассмотрении вопроса влияния различных абиотических факторов на количественные показатели и видовую структуру улова необходимо отметить, что степень их воздействия оценивалась лишь на относительно коротком временном интервале и фактическое значение отдельных факторов может меняться.

Так как количество видов в уловах ловушек возрастало вниз по течению реки, наибольшее видовое разнообразие было зафиксировано на плёсо-

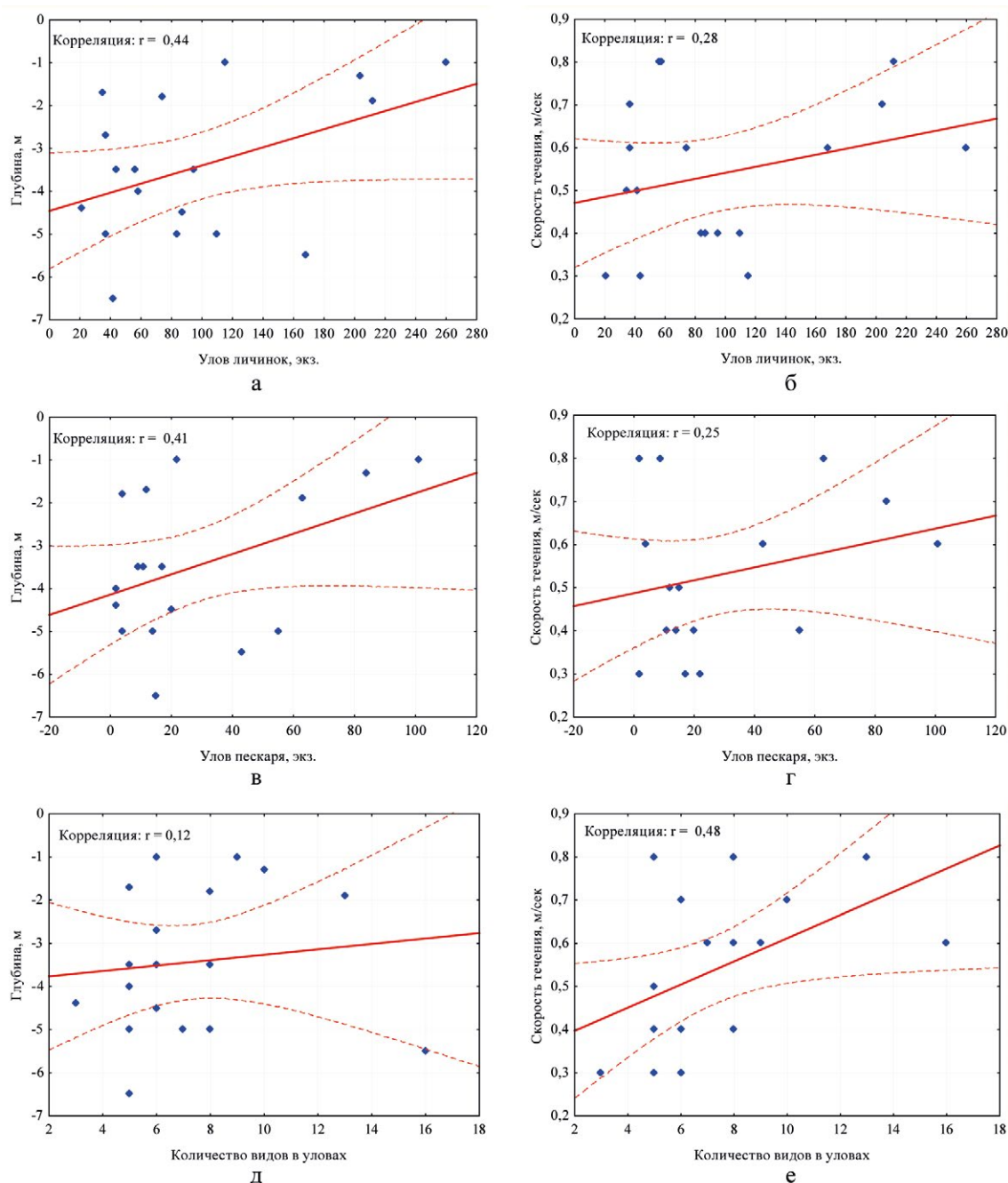


Рис. 2. Влияние глубины реки и скорости течения в местах постановки ловушек на общую численность личинок (а, б); численность белопёртого пескаря (в, г) и числа видов в уловах (д, е)

Fig. 2. Influence of the river depth and current velocity in the places of setting traps on the total catch of larvae (а, б); catch of white-finned minnow (в, г) and the number of species in the catches (д, е)

вом участке у д. Свинчус, где русло реки ниже впадения р. Прони сужалось с 220–240 м в межень до 170 м (табл. 1, рис. 1). Сходная особенность наблюдалась нами ранее при сужении русла в верховьях Оки у г. Белева, где структура улова ловушек отличалась максимальным разнообразием по сравнению с ниже расположенными станциями [Митенков, Быков, 2016].

Существенных различий по количеству видов в уловах ловушек между плесовыми и перекатистыми участками реки не наблюдалось (табл. 2).

Взаимосвязь величины улова личинок с глубиной реки была более выражена ($R = -0,44$, при уровне значимости $p \leq 0,05$), чем со скоростью течения ($R = 0,28$) и имела отрицательную направленность. На больших глубинах количество молоди в уловах в среднем снижалось (рис. 2 а и 2 б). Корреляция величины улова личинок наиболее массовых видов — окуня и белопёрого пескаря с этими же абиотическими факторами имеет свои различия, связанные с индифферентностью по отношению к биотопам речного окуня в реке равнинного типа и предпочтением белопёрым пескарём перекатистых участков русла. То есть достоверная взаимосвязь между величиной улова личинок окуня с глубиной и скоростью течения отсутствовала. А уловы белопёрого пескаря в среднем были более высокие на перекатах, чем на плёсах, то есть на меньших глубинах с большей скоростью течения (рис. 2 в и 2 г).

Достоверная корреляция между глубиной постановок ловушек и числа видов в уловах отсутствует ($R = 0,12$) и имеет среднюю степень корреляции ($R = 0,48$) со скоростью течения (рис. 2 в и 2 г).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования ската ранней молоди рыб в период покатных миграций в среднем течении р. Оки показали большее по сравнению с верхним течением видовое разнообразие уловов. Наиболее массовыми видами в период ската молоди были речной окунь, белопёрый пескарь и обыкновенный елец. Доля типично реофильных видов рыб в структуре покатной молоди была в среднем ниже, чем в верхнем течении реки. Видовое разнообразие уловов возрастало вниз по течению реки. Доля карповых и окунёвых рыб на Рязанских участках реки суммарно была ниже, чем на участках верхнего течения. Встречаемость представителей других семейств, в том числе и инвазивных видов, в среднем течении р. Оки, наоборот была выше. Концентрация молоди и видовая структура улова имеет среднюю степень корреляции с глубиной постановки ловушек. Со скоростью течения достоверно коррелирует в средней степени только количество видов рыб в улове.

ЛИТЕРАТУРА

- Богданов В.Д. 1987. Изучение динамики численности и распределения личинок сиговых рыб реки Северной Сосывы. Препринт. Свердловск: УрО АН СССР, 60 с.
- Быков А.Д. 2017. Проблемы искусственного воспроизводства стерляди в бассейне р. Оки // Рыбоводство и рыбное хозяйство. № 12. С. 8–19.
- Быков А.Д., Митенков Ю.А. 2018. Результаты рыбохозяйственных исследований в верховьях Оки // Рыбное хозяйство. № 1. С. 59–66.
- Быков А.Д., Митенков Ю.А. 2018. Результаты рыбохозяйственного обследования р. Ока в границах Московской области // Труды ВНИРО. Т. 171. С. 123–140.
- Быков А.Д., Митенков Ю.А., Палатов Д.М. 2019. Результаты рыбохозяйственного обследования реки Оки в границах Калужской области // Вопросы рыболовства. Т. 20. № 2. С. 164–182.
- Быков А.Д., Палатов Д.М. 2019. Биология стерляди *Acipenser ruthenus* среднего течения Оки // Труды Окского государственного природного биосферного заповедника. Рязань. С. 103–137.
- Вещев П.В., Гутенева Г.И., Муханова Р.С. 2012. Эффективность естественного воспроизводства осетровых в низовьях Волги в современных условиях // Экология. № 2. С. 123.
- Иванчев В.П., Иванчева Е.Ю. 2010. Круглоротые и рыбы Рязанской области и прилегающих территорий. Рязань: НП «Голос губернии». 292 с.
- Коблицкая А.Ф. 1981. Определитель молоди пресноводных рыб. М.: Лёгкая и пищевая промышленность. 208 с.
- Королев В.В., Решетников Ю.С. 2008. Редкие и малочисленные виды круглоротых и рыб бассейна Верхней Оки в пределах Калужской области // Вопросы ихтиологии. Т. 48. № 5. С. 611–624.
- Макеева А.П., Павлов Д.С., Павлов Д.А. 2011. Атлас молоди пресноводных рыб России. М. Т-во научных изданий КМК. 383 с.
- Митенков Ю.А., Быков А.Д. 2016. Видовая структура ранней молоди рыб верхнего течения р. Оки в период покатных миграций // Рыбоводство и рыбное хозяйство. № 5. С. 19–27.
- Одум Ю. 1986. Экология. Т. 2. М.: Мир. 376 с.
- Павлов Д.С., Лупандин А.И., Костин В.В. 2007. Механизмы покатной миграции молоди речных рыб. М.: Наука. 212 с.
- Павлов Д.С., Лупандин А.И., Тарадина Д.Г., Хара Р. 1996. Суточная динамика плавучести молоди карповых и окуневых рыб в связи с их покатной миграцией в дельте реки Волги // Вопросы ихтиологии. Т. 36. № 6. 847 с.
- Павлов Д.С., Нездолий В.К., Ходоревская Р.П. 1981. Покатная миграция молоди рыб в реках Волге и Или. М.: Наука. 320 с.
- Тарадина Т.Г., Павлов Д.С., Лупандин А.И. 1997. Связь вертикального распределения молоди рыб при покатной миграции с их плавучестью и турбулентностью потока // Вопросы ихтиологии. Т. 37. № 4. 532 с.
- Терещенко В.Г., Надиров С.Н. 1996. Формирование структуры рыбного населения предгорного водохранилища // Вопросы ихтиологии. Т. 36. № 2: 169–178.

REFERENCES

- Bogdanov V.D.* 1987. Study of the dynamics of the number and distribution of whitefish larvae of the Severnaya Sosva River. Preprint. Sverdlovsk: Ural Branch of the USSR AS. 60 p.
- Bykov A.D.* 2017. Problems of artificial reproduction of sterlet in the river basin Oki // Fish farming and fisheries. № 12. pp. 8–19.
- Bykov A.D., Mitenkov Y.A.* 2018. The results of fisheries research in the upper reaches of the Oka // Fisheries. N. 1. pp. 59–66.
- Bykov A.D., Mitenkov Y.A.* 2018. The results of the fisheries survey of R. Oka within the borders of the Moscow region // Proceedings of VNIRO. V. 171. pp. 123–140.
- Bykov A.D., Mitenkov Y.A., Palatov D.M.* 2019. The results of the fisheries survey of the Oka River within the borders of the Kaluga region // Questions of fisheries. V. 20. № 2. pp. 164–182.
- Bykov A.D., Palatov D.M.* 2019. Biology of the sterlet *Acipenser ruthenus* of the Middle Oka // Proceedings of the Oka State Natural Biosphere Reserve. Ryazan. Pp. 103–137.
- Veshchev P.V., Guteneva G.I., Mukhanova R.S.* 2012. Efficiency of natural reproduction of sturgeon in the lower reaches of the Volga in modern conditions // Ecology. № 2. p. 123.
- Ivanchev V.P., Ivancheva E.Y.* 2010. Round-mouthed and fish of the Ryazan region and adjacent territories. Ryazan: NP «Voice of the province». 292 p.
- Koblitskaya A.F.* 1981. The determinant of juvenile freshwater fish. M.: Light and food industry. 208 p.
- Korolev V.V., Reshetnikov Y.S.* 2008. Rare and small-numbered species of round-mouthed and fish of the Upper Oka basin within the Kaluga region // Questions ichthyology. V. 48. № 5. Pp. 611–624.
- Makeeva A.P., Pavlov D.S., Pavlov D.A.* 2011. Atlas of juvenile freshwater fish of Russia. M.: T-in scientific publications KMK. 383 p.
- Mitenkov Y.A., Bykov A.D.* 2016. Species structure of early juvenile fish of the upper reaches of the river Oki in the period of rolling migrations // Fish farming and fisheries. № 5. pp. 19–27.
- Odum Y.* 1986. Ecology. V. 2. Moscow: Mir. 376 p.
- Pavlov D.S., Lupandin A.I., Kostin V.V.* 2007. Mechanisms of sloping migration of juvenile river fish. M.: Nauka. 212 p.
- Pavlov D.S., Lupandin A.I., Taradina D.G., Hara R.* 1996. Daily dynamics of buoyancy of juvenile carp and perch fish in connection with their sloping migration in the Volga River delta // Questions of ichthyology. Vol. 36. № 6. 847 p.
- Pavlov D.S., Nezdolii V.K., Khodorevskaya R.P.* 1981. Sloping migration of juvenile fish in the Volga and Ili rivers. M.: Nauka. 320 p.
- Taradina T.G., Pavlov D.S., Lupandin A.I.* 1997. The relationship of the vertical distribution of juvenile fish during sloping migration with their buoyancy and turbulence of the flow // Questions of ichthyology. Vol. 37. № 4. 532 p.
- Tereshchenko V.G., Nadirov S.N.* 1996. Formation of the structure of the fish population of the foothill reservoir // Questions ichthyology. V. 36. № 2: 169–178.

Поступила в редакцию 17.04.2021 г.
Принята после рецензии 21.12.2021 г.

Среда обитания водных биологических ресурсов

Современные тенденции изменения океанографических условий Баренцева моря

А.Г. Трофимов

Полярный филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н.М. Книповича), ул. Академика Книповича 6, г. Мурманск, 183038
E-mail: trofimov@pinro.ru

Целью работы является выявление современных тенденций изменения океанографических условий Баренцева моря.

Материалом исследования послужили данные, собранные в ходе экспедиций ПИНРО в Баренцево море, а также другая доступная информация о его гидрометеорологических условиях.

Используемые методы: сравнительный анализ данных, методы описательной статистики, корреляционный и регрессионный анализы.

Результаты: представлен обзор метеорологических (штормовая активность, температура воздуха) и океанографических (температура и солёность морской воды, площади водных масс, ледовитость) условий Баренцева моря в 2016–2020 гг. Период с 2016 по 2020 гг. характеризуется как тёплый, малоледный, распреснённый и с повышенной штормовой активностью. Начиная с рекордно тёплого 2016 г., в Баренцевом море наметилась тенденция понижения температуры воды и воздуха, сокращения площади, занятой тёплыми атлантическими водами, тогда как в изменениях ледовитости моря и площадей, занятых арктическими и холодными придонными водами, в последние годы, напротив, отмечается тенденция к росту. При этом штормовая активность в рассматриваемый период оставалась стабильно высокой, а солёность вод — низкой.

Практическая значимость: полученные результаты анализа океанографических условий Баренцева моря позволят лучше понимать процессы, происходящие в его экосистеме, и возможные сценарии их развития, особенно в условиях современных глобальных изменений климата в этом важном для рыбохозяйственной отрасли регионе.

Ключевые слова: Баренцево море, метеорологические условия, океанографические условия, температура и солёность воды, ледовитость, современные тенденции.

The current trends in oceanographic conditions of the Barents Sea

Alexander G. Trofimov

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

The aim of the paper is to identify current trends in oceanographic conditions of the Barents Sea.

The material for the study was the data obtained during surveys in the Barents Sea by PINRO. As well as other available information on hydrometeorological conditions of the Barents Sea was used.

Methods of descriptive statistics as well as comparative, correlation and regression analyses were applied.

Results: An overview of meteorological (storm activity, air temperature) and oceanographic (sea water temperature and salinity, areas of water masses, ice coverage) conditions of the Barents Sea in 2016–2020 is presented. The period from 2016 to 2020 is characterized as warm, low-ice, fresh and with increased storm activity. Since the record warm year of 2016, there has been a declining trend in water and air temperatures as well as in the area occupied by warm Atlantic waters in the Barents Sea, while an increasing trend has been observed in the sea ice extent and areas of Arctic and cold bottom waters in the recent years. At the same time, for the investigated period, storm activity remained stably high, and salinity was still at a low level.

Practical significance: The obtained results of the analysis of the Barents Sea oceanographic conditions are useful for better understanding the processes occurring in the sea ecosystem and possible scenarios for their development, especially in the context of current global climate changes in this region, being of great importance for the fishing industry.

Keywords: Barents Sea, meteorological conditions, oceanographic conditions, water temperature and salinity, ice coverage, current trends.

ВВЕДЕНИЕ

Баренцево море — шельфовое окраинное море Северного Ледовитого океана, расположенное между Северной Европой и архипелагами Шпицберген, Земля Франца-Иосифа и Новая Земля (рис. 1). Являясь переходной зоной между Северной Атлантикой и Аркти-

ческим бассейном, оно играет важную роль в водообмене между ними [Ingvaldsen et al., 2004; Maslowski et al., 2004; Boitsov et al., 2012]. Атлантические воды проникают в Арктический бассейн через Баренцево море и пролив Фрама. Изменения температуры и солёности атлантических вод, входящих в Баренцево

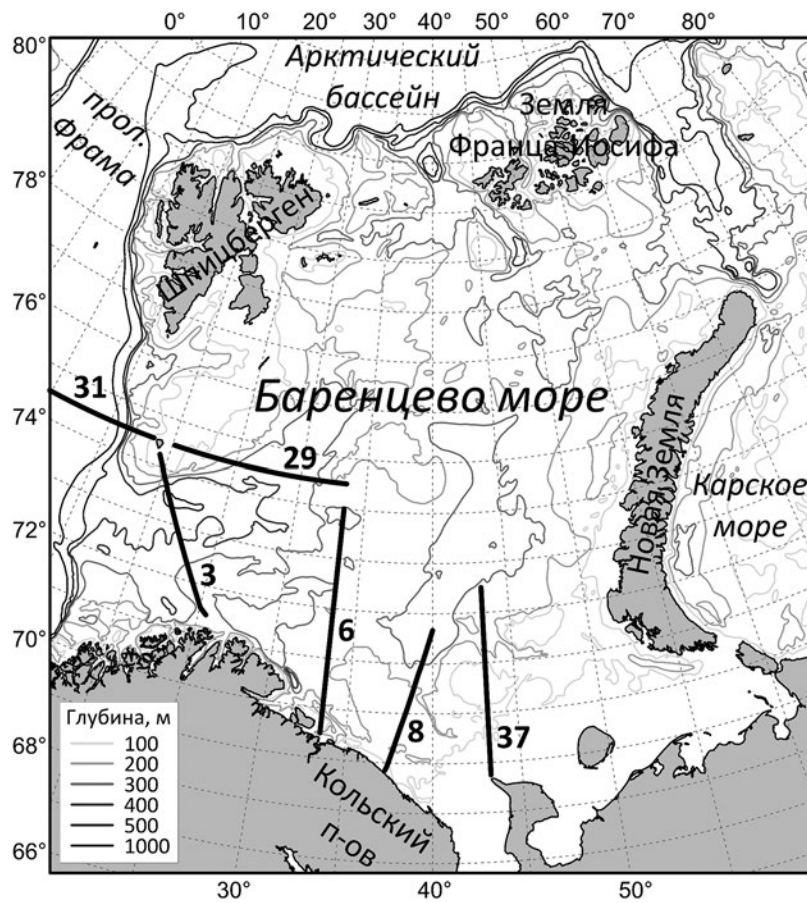


Рис. 1. Положение и рельеф дна Баренцева моря. Жирными линиями показаны основные российские стандартные разрезы: Кольский меридиан (№ 6), Нордкап – Медвежий (№ 3), Медвежий – Запад (№ 31), Медвежий – Восток (№ 29), Харловский (№ 8), Канинский (№ 37)

Fig. 1. The Barents Sea location and topography. The bold lines show the main Russian standard sections: Kola (№ 6), North Cape – Bear Island (№ 3), Bear Island – West (№ 31), Bear Island – East (№ 29), Kharlov (№ 8), Kanin (№ 37)

море, оказывают влияние на океанографические условия не только самого Баренцева моря, но и Северного Ледовитого океана и связаны с крупномасштабными атмосферными процессами [Årthun et al., 2012; Boitsov et al., 2012; Smedsrud et al., 2013; Yashayaev, Seidov, 2015; Ожигин и др., 2016; González-Pola et al., 2020]. Баренцево море также является важным рыбохозяйственным бассейном и отличается высокой биопродуктивностью, которая в значительной степени зависит от его океанографических условий [Ижевский, 1961; Гершанович, Муромцев, 1983; Ожигин и др., 1999; Шевченко, 2000; Трофимов, 2003; Loeng, Drinkwater, 2007; Jakobsen, Ozhigin, 2011; Dalpadado et al., 2012; Johannesen et al., 2012; Dalpadado et al., 2014; Eriksen et al., 2017].

В последние десятилетия наблюдается существенный рост температуры воздушных и водных масс и сокращение площади льдов не только в Баренцевом море, но и в Арктике в целом [Ingvaldsen et al., 2003; Polyakov et al., 2005; Boitsov et al., 2012; Трофимов

и др., 2018; González-Pola et al., 2020]. Происходящее потепление воспринимается многими как процесс, который будет развиваться и далее [Оценочный доклад ..., 2008; Цатуров, Клепиков, 2012; IPCC, 2014]. Однако, существует мнение, что изменчивость климата имеет циклический характер, и текущее потепление в скором времени сменится похолоданием [Frolov et al., 2009; Фролов и др. 2010, 2012; Drinkwater et al., 2014].

В условиях современных изменений климата, учитывая важность Баренцева моря для рыбохозяйственной отрасли и ключевую роль условий окружающей среды в функционировании морских экосистем, представляется очевидной необходимость выполнения мониторинга и всестороннего анализа океанографических условий Баренцева моря, что позволит лучше понимать процессы, происходящие в его экосистеме, и возможные сценарии их развития.

Цель данной работы — выявить современные тенденции изменения океанографических условий Баренцева моря.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В работе основное внимание уделено периоду с 2016 по 2020 гг. для того, чтобы выявить основные изменения условий среды, произошедшие в Баренцевом море после рекордно тёплого 2016 г., и определить их тенденции.

Анализ океанографических условий Баренцева моря основывался на данных наблюдений на стандартных разрезах (см. рис. 1) и на материалах съёмки по оценке запасов промысловых видов рыб. Также использовались океанографические данные, полученные в ходе обмена с Институтом морских исследований (г. Берген, Норвегия), и другая доступная информация о гидрометеорологических условиях Баренцева моря. Для анализа также привлекались восстановленные данные по температуре воды на разрезе «Кольский меридиан» за период с июня 2016 г. по май 2017 г. [Карсаков и др., 2018]. В работе рассмотрены зимний индекс Северо-Атлантического колебания, количество штормовых дней, температура воздуха, температура и солёность воды, площади водных масс, ледовитость. Ссылки на источники данных представлены по тексту.

Для расчёта аномалий использовались среднесезонные значения за периоды: 1981–2010 гг. (количество штормовых дней, температура воздуха, ледовитость, температура и солёность воды на разрезе «Кольский меридиан», площади водных масс), 1982–2010 гг. (температура поверхности моря), 1954–1990 гг. (температура воды на разрезе «Канинский»), 1951–1990 гг. (температура воды на остальных стандартных разрезах), 1931–2010 гг. (температура и солёность воды поверхностного слоя, на 100 м и у дна — карты горизонтального распределения). Разные периоды осреднения обусловлены разной обеспеченностью исходными данными.

При выявлении трендов в изменениях анализируемых параметров их достоверность оценивалась с помощью уровня значимости p -value (p -значение). В случае, если p -value было меньше 0,05, тренд считался статистически значимым с вероятностью 95%, а если меньше 0,01, то, соответственно, с вероятностью 99% [Коросов, Горбач, 2007].

В работе использовались сравнительный анализ данных, методы описательной статистики, корреляционный и регрессионный анализы [Елисеева, Юзбашев, 2004]. Статистическая обработка данных выполнялась в программе Microsoft Excel 2016 (надстройка «Ана-

лиз данных»), графики строились с помощью Microsoft Excel 2016, карты — в программе Golden Software MapViewer 8.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Метеорологические условия. В 2016–2020 гг. зимний (декабрь–март) индекс Северо-Атлантического колебания¹ был положительным и высоким (0,74–1,78) во все годы, кроме 2018 г., когда он упал незначительно ниже нуля (–0,17), при этом в 2020 г. он стал четвёртым максимумом (1,78) с 1900 г. после 1989 г. (2,43), 1990 г. (1,91) и 2015 г. (1,83). Особенности атмосферной циркуляции обусловили в последние годы аномально высокую штормовую активность, под которой в этой работе будет подразумеваться количество дней со штормовым ветром (15 м/с и более). В Баренцевом море практически во все месяцы 2016–2020 гг. количество штормовых дней (штормов) превышало норму (рис. 2), а в отдельные — достигало максимальных значений с 1981 г.: в январе 2017 г. 24 дня (норма 15), в марте 2020 г. 26 дней (норма 12), в мае 2017 г. 15 дней (норма 4), в июне 2018 г. 16 дней (норма 3), в июле 2019 г. 12 дней (норма 2), в августе 2016 г. 13 дней (норма 3), в сентябре 2018 г. 15 дней (норма 6). Лишь в течение 9 месяцев из 60 штормовая активность была на уровне нормы или немного ниже. Если рассматривать общее за год количество штормовых дней, то с 1987 г. в Баренцевом море отмечается статистически значимый тренд (p -value = 0,000) к росту количества штормов (см. рис. 2), которое увеличилось с 75 дней в 1987 г. до 161 дня в 2018 г., достигнув максимального значения с 1981 г. Таким образом, в последние десятилетия прирост годового количества штормовых дней составил в среднем 2 дня в год. В рассматриваемые 2016–2020 гг. штормовая активность оставалась на высоком уровне (142–161 дней за год при норме 104 дня) без какой-либо выраженной тенденции изменения (p -value = 0,827, что во много раз превышает пороговое значение 0,05, при котором можно утверждать о статистической значимости тренда с вероятностью 95%) (см. рис. 2). Использование месячных аномалий количества штормовых дней за период с января 2016 г. по декабрь 2020 г. также не позволило выявить сколько-нибудь значимый тренд (p -value = 0,623) (см. рис. 2).

В 1981–2020 гг. в изменениях температуры воздуха,² осреднённой по площади для западной (70–76°

¹ Hurrell North Atlantic Oscillation (NAO) index (PS-based). UCAR. 20.03.2021. Accessible via: <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/hurrell-north-atlantic-oscillation-nao-index-ps-based>.

² Monthly mean time series from the NCEP Reanalysis Dataset. Climate Prediction Center, National Weather Service, NOAA. 20.03.2021. Accessible via: <http://nomad2.ncep.noaa.gov>.

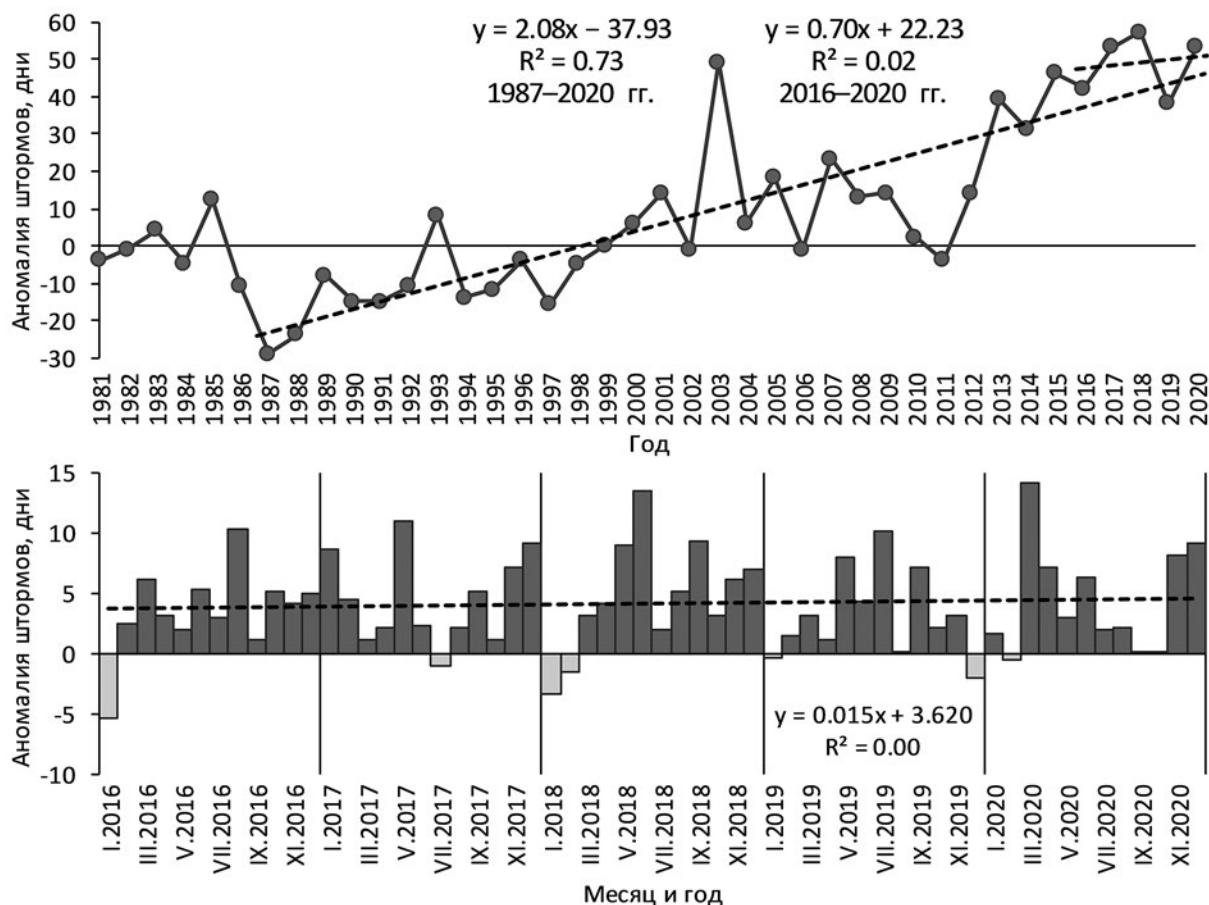


Рис. 2. Аномалии количества штормовых дней (с ветром более 15 м/с) в центральной части Баренцева моря (68–80° с.ш., 30–40° в.д.): годовые в 1981–2020 гг. (сверху) и месячные в 2016–2020 гг. (снизу). Пунктирная линия – линейный тренд. Данные по штормам получены из ФГБУ «Мурманское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды»

Fig. 2. Anomalies of storm activity (days with wind more than 15 m/s) in the central Barents Sea (68–80°N, 30–40°E): annual values in 1981–2020 (upper) and monthly values in 2016–2020 (lower). The dashed line shows a linear trend. The data on stormy activity were obtained from the Murmansk Department for Hydrometeorology and Environmental Monitoring

с.ш., 15–35° в.д.) и восточной (69–77° с.ш., 35–55° в.д.) частей Баренцева моря, отмечались статистически значимые положительные тренды (p -value = 0,000): прирост среднегодовой температуры составил в среднем 0,05 °C в год на западе моря и 0,10 °C в год – на востоке (рис. 3). С 2004 г. в Баренцевом море наблюдается период высоких температур воздуха, которые достигли в 2016 г. максимальных значений с 1948 г. (в среднем за год 3,3 °C при норме 1,2 °C – на западе моря и 1,1 °C при норме –2,6 °C – на востоке). В 2016–2020 гг. температура воздуха над Баренцевым морем в большинстве месяцев по-прежнему превышала норму (см. рис. 3), а в отдельные – достигала максимальных значений с 1948 г.: на западе в мае 2016 и 2018 гг. 4,6 °C (норма 1,5 °C), в июле 2018 г. 11,6 °C (норма 7,8 °C), в ноябре 2020 г. 3,0 °C (норма –1,0 °C) и на востоке в феврале 2016 г. –2,1 °C (норма –9,6 °C), в июле 2016 г. 9,0 °C (норма 4,9 °C),

в сентябре 2016 г. 6,8 °C (норма 3,8 °C), в ноябре 2020 г. 1,2 °C, положительное значение наблюдалось впервые с 1948 г., при норме –3,8 °C. При этом наиболее низкие аномалии температуры воздуха наблюдались в 2019 г., когда штормовая активность над морем была также самая низкая в сравнении с остальными годами рассматриваемого периода. И хотя температура воздуха в 2016–2020 гг. была по-прежнему выше нормы, в её среднегодовых значениях визуально прослеживается, наиболее отчётливо с 2016 по 2019 гг., тенденция на понижение как на западе, так и на востоке Баренцева моря (см. рис. 3). Но, несмотря на это, тренды, выделенные на основе среднегодовых аномалий за 2016–2020 гг., оказались статистически незначимыми (p -value составило 0,278 на западе и 0,210 на востоке). Однако, при использовании среднемесячных аномалий за период с января 2016 г. по декабрь 2020 г. значимость трендов существенно увеличилась

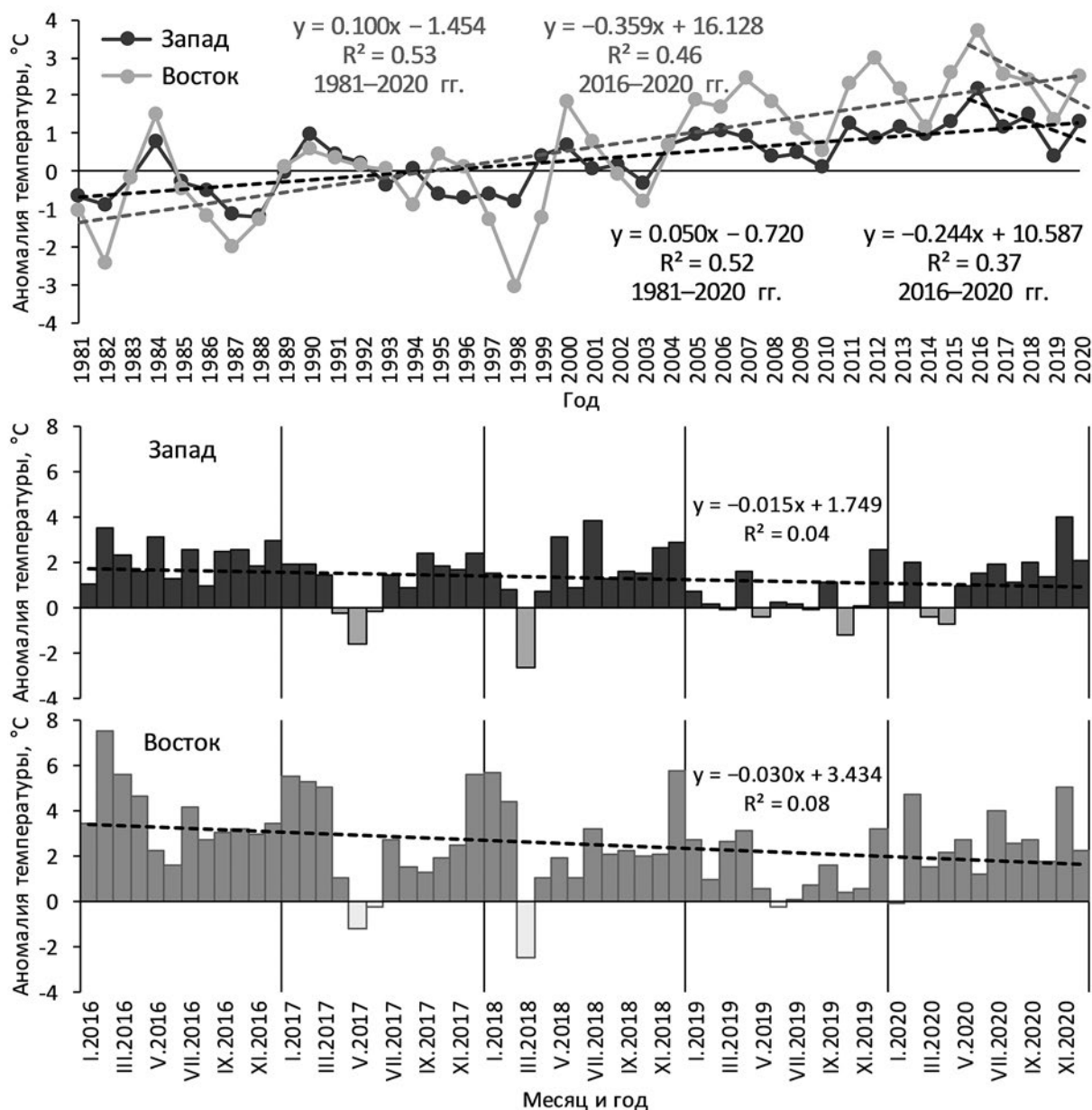


Рис. 3. Аномалии температуры воздуха в западной и восточной частях Баренцева моря: среднегодовые в 1981–2020 гг. (сверху) и среднемесячные в 2016–2020 гг. (снизу). Пунктирная линия – линейный тренд

Fig. 3. Air temperature anomalies in the western and eastern Barents Sea: annual mean values in 1981–2020 (upper) and monthly mean values in 2016–2020 (lower). The dashed line shows a linear trend

(p -value составило 0,133 на западе и 0,032 на востоке), т.е. уменьшение среднемесячных аномалий температуры воздуха на востоке Баренцева моря можно считать статистически значимым (см. рис. 3).

Ледовые условия. В период с 1981 по 2020 гг. ледовитость Баренцева моря, выраженная как процент площади, занятой льдом, от площади моря, в целом неуклонно сокращалась – отмечался статистически значимый отрицательный тренд (p -value = 0,000), при котором среднегодовая ледовитость уменьша-

лась в среднем на 0,6% в год (рис. 4). В 2016 г. ледовитость моря достигла минимальных значений с 1951 г., составив в среднем за год 14,5% при норме 34,3%. В период с 2016 по 2020 гг. площадь льдов во все месяцы была ниже среднемноголетних значений (см. рис. 4), а в отдельные – достигала минимальных значений с 1951 г.: в марте 2016 г. 32% (норма 55%), в апреле 2016 г. 31% (норма 57%), в мае 2016 г. 19% (норма 50%), в июне 2016 г. 8% (норма 37%), в ноябре 2020 г. 3% (норма 29%), в декабре 2018 г. 15% (норма 40%). При этом Баренцево море было полностью (или

практически полностью) свободным ото льда в 2016 г. с июля по октябрь (ледовитость в эти месяцы составляла 0, 0, 0 и 2 % соответственно), в 2017 г. в сентябре (1%), в 2018 г. с августа по октябрь (0%), в 2019 г. в сентябре и октябре (1 и 3%), в 2020 г. с августа по ноябрь (0, 0, 1 и 3 % соответственно). В 2016 и 2019 гг. сезонный максимум ледовитости, отмечающийся обычно в апреле, наступил на месяц раньше – в марте. В 2018 и 2020 гг. в весенний период происходило более интенсивное таяние льда, сопровождавшееся повышенной штормовой активностью и высокой температурой воздуха: с апреля по июнь ледовитость моря сократилась в среднем на 36%, тогда как в 2016, 2017 и 2019 гг. – лишь на 22% (в среднем за эти три года), что близко к среднелетним темпам сезонного сокращения площади льдов (на 20% с апреля по июнь). Относительно более высокая ледовитость отмечалась в 2019 г., когда штормовая активность и тем-

пература воздуха над морем были самыми низкими в сравнении с остальными годами рассматриваемого периода. Несмотря на низкую в целом ледовитость Баренцева моря, в последние годы (2016–2020) наблюдается тенденция увеличения её среднегодовых значений (p-value составило 0,080, что говорит о статистической значимости тренда с вероятностью 92%) (см. рис. 4). При использовании среднемесячных аномалий ледовитости за период с января 2016 г. по декабрь 2020 г. значимость тренда повысилась (p-value = 0,003), и он стал статистически значимым уже с вероятностью 99% (см. рис. 4).

Океанографические условия (стандартные разрезы). Разрез «Кольский меридиан», выполняемый с мая 1900 г., является одним из самых длинных и репрезентативных в мире рядов океанографических данных. Он расположен в центральной части Баренцева

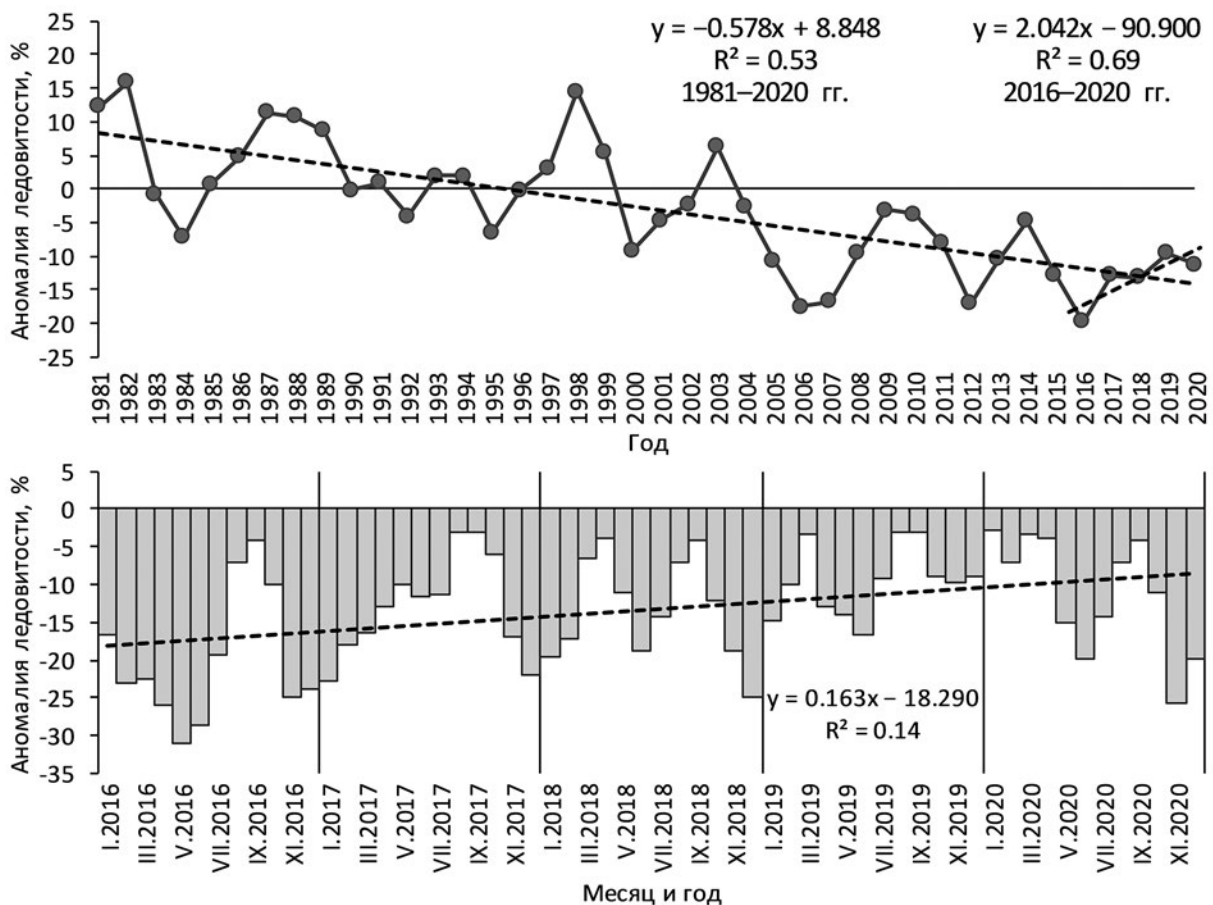


Рис. 4. Аномалии ледовитости Баренцева моря: среднегодовые в 1981–2020 гг. (сверху) и среднемесячные в 2016–2020 гг. (снизу). Пунктирная линия – линейный тренд. Данные по ледовитости получены из ФГБУ «Мурманское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды»

Fig. 4. Ice coverage anomalies in the Barents Sea: annual mean values in 1981–2020 (upper) and monthly mean values in 2016–2020 (lower). The dashed line shows a linear trend. The data on ice coverage were obtained from the Murmansk Department for Hydrometeorology and Environmental Monitoring

моря (см. рис. 1) и пересекает прибрежные и атлантические воды, входящие в Баренцево море из Норвежского. На практике, как правило, используются средние значения температуры и солёности в разных слоях (0–50, 0–200, 50–200, 150–200 м) на трёх участках разреза (станции 1–3 – прибрежные воды Прибрежной ветви Мурманского течения, станции 3–7 – атлантические воды Основной ветви Мурманского течения и станции 8–10 – атлантические воды Центральной ветви Нордкапского течения). Далее будут рассмотрены только средние значения температуры и солёности в слое 0–200 м между станциями 3 и 7, поскольку данные именно с этого участка разреза наиболее полно отражают изменчивость свойств тёплых и солёных атлантических вод, проходящих через Баренцево море и следующих далее в Арктический бассейн.

В 1981–2020 гг. для температуры атлантических вод на разрезе «Кольский меридиан» был характерен статистически значимый положительный тренд

(p -value = 0,000): прирост среднегодовой температуры составил в среднем около 0,04 °C в год (рис. 5). С 2004 г. среднегодовая температура атлантических вод на разрезе находится на уровне тёплых и аномально тёплых лет, лишь в 2011 г. она опустилась до уровня нормальных лет, но уже в 2012 г. достигла рекордно высокого значения с 1900 г. (5,36 °C при норме 4,22 °C). Второй по величине максимум был отмечен в 2016 г. (5,32 °C). В 2016–2020 гг. температура атлантических вод в подавляющем большинстве месяцев по-прежнему превышала норму и находилась на уровне тёплых и аномально тёплых лет (см. рис. 5), а в отдельные месяцы достигала максимальных значений с 1951 г.: в январе 2016 и 2017 гг. 5,2 °C (норма 4,1 °C), в феврале 2017 г. 4,9 °C (норма 3,6 °C), в марте 2016 и 2017 гг. 4,7 °C (норма 3,4 °C), в апреле 2016 г. 4,6 °C (норма 3,2 °C), в октябре 2016 г. 6,1 °C (норма 5,2 °C), в ноябре 2016 г. 6,0 °C (норма 5,0 °C), в декабре 2016 г. 5,6 °C (норма 4,5 °C). При этом наиболее низкие положительные аномалии темпера-

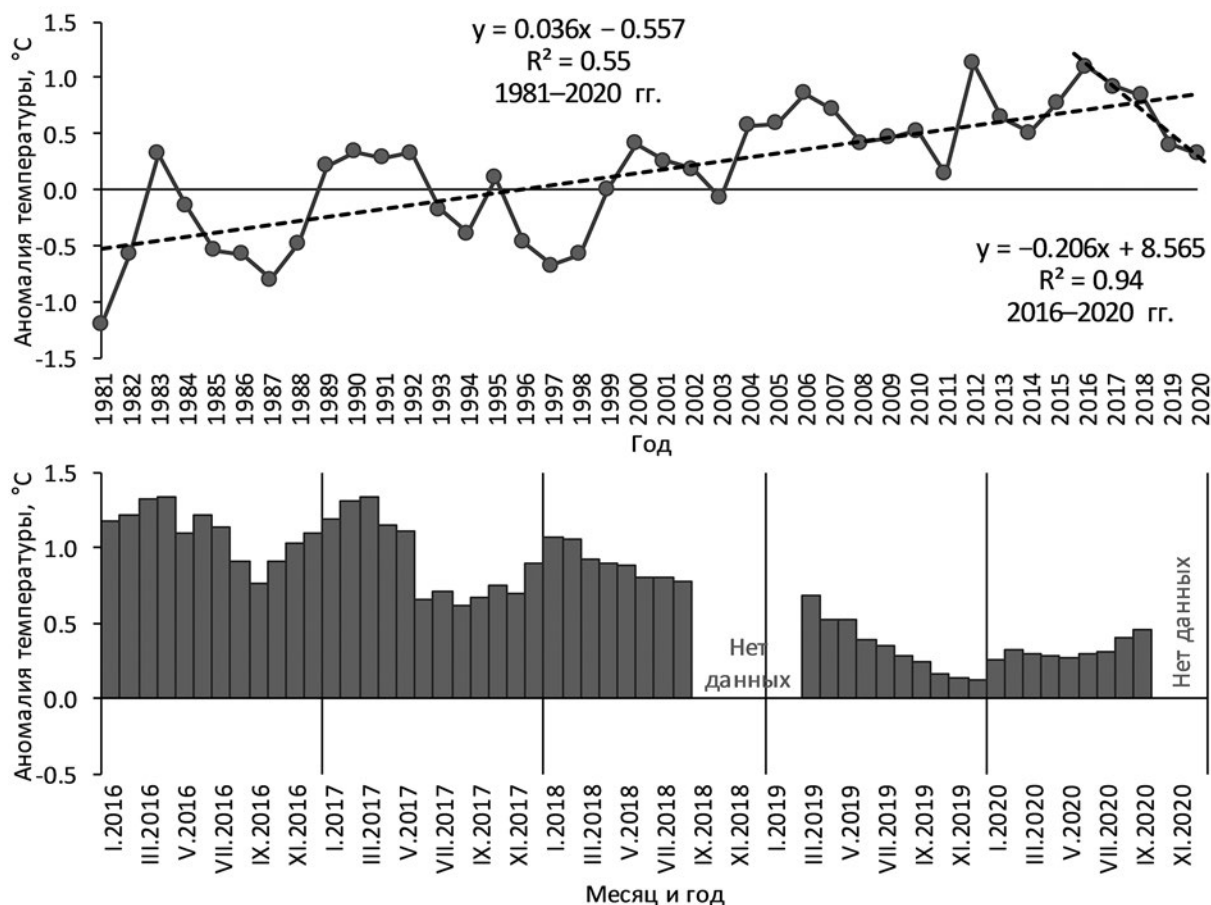


Рис. 5. Аномалии температуры (°C) в слое 0–200 м на разрезе «Кольский меридиан» (Основная ветвь Мурманского течения): среднегодовые в 1981–2020 гг. (сверху) и среднемесячные в 2016–2020 гг. (снизу). Пунктирная линия – линейный тренд

Fig. 5. Temperature anomalies (°C) in the 0–200 m layer in the Kola Section (Murmnan Current): annual mean values in 1981–2020 (upper) and monthly mean values in 2016–2020 (lower). The dashed line shows a linear trend

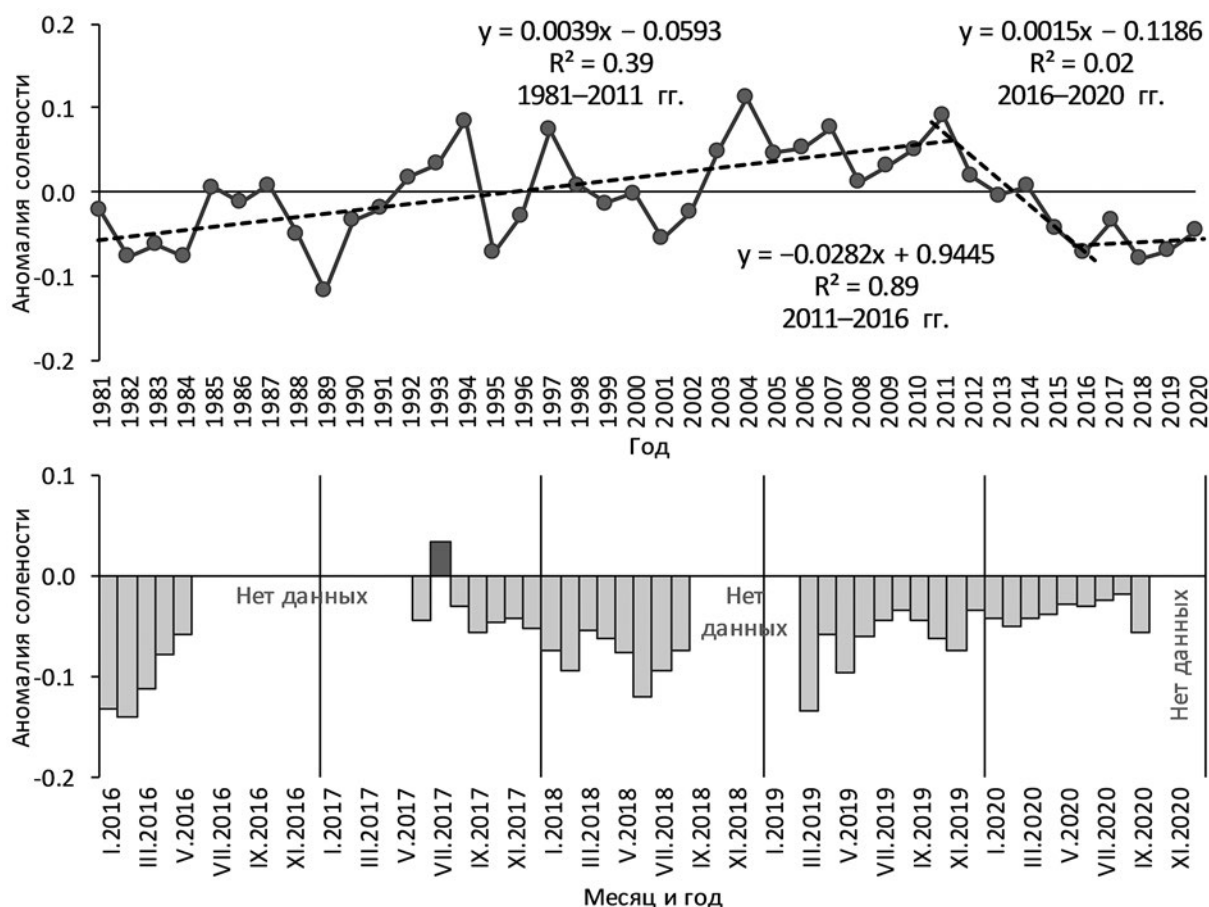


Рис. 6. Аномалии солёности в слое 0–200 м на разрезе «Кольский меридиан» (Основная ветвь Мурманского течения): среднегодовые в 1981–2020 гг. (сверху) и среднемесячные в 2016–2020 гг. (снизу). Пунктирная линия – линейный тренд
Fig. 6. Salinity anomalies in the 0–200 m layer in the Kola Section (Murman Current): annual mean values in 1981–2020 (upper) and monthly mean values in 2016–2020 (lower). The dashed line shows a linear trend

туры наблюдались в 2019 и 2020 гг. Несмотря на то, что в 2016–2020 гг. температура атлантических вод на разрезе «Кольский меридиан» была по-прежнему выше нормы, в её среднегодовых значениях отмечался статистически значимый нисходящий тренд (p -value = 0,007) (см. рис. 5).

Солёность атлантических вод на разрезе «Кольский меридиан» постепенно увеличивалась на протяжении 1981–2011 гг.: отмечался статистически значимый положительный тренд (p -value = 0,000), при котором среднегодовая солёность увеличивалась на 0,004 в год (рис. 6). В 2004 г. она достигла максимального значения (34,88 при норме 34,77), а в 2011 г. – второго по величине максимума (34,86) с 1981 г. При этом период с 2003 по 2011 гг. характеризовался высокой солёностью, среднегодовые положительные аномалии составляли 0,03–0,11 (или 0,6–2,0 σ , где σ – среднеквадратическое отклонение) во все годы, кроме 2008, когда средняя за год солёность была близка к норме. Однако, с 2004 г. наметилась тенденция к снижению солёности атлантических вод на разрезе,

а с 2011 по 2016 гг. в её изменениях наблюдался статистически значимый отрицательный тренд (p -value = 0,004) – уменьшение среднегодовой солёности составляло 0,03 в год (см. рис. 6). В 2013 и 2014 гг. она достигла среднемноголетнего уровня, а в 2015 г. опустилась на 0,04 (0,8 σ) ниже нормы. С 2016 по 2020 гг. солёность атлантических вод на разрезе «Кольский меридиан» оставалась на низком уровне (в среднем за год 34,69–34,74 при норме 34,77, аномалии от –0,6 до –1,4 σ) без какой-либо выраженной тенденции изменения (p -value = 0,840) (см. рис. 6).

Кроме разреза «Кольский меридиан» в Баренцевом море также выполняются другие основные океанографические разрезы (см. рис. 1), но гораздо реже. В рассматриваемый период с 2016 по 2020 гг. температура атлантических вод в слое 0–200 м на разрезах «Нордкап – Медвежий», «Медвежий – Восток», «Харловский» и «Канинский» была наиболее высокой в 2016 г. (положительные аномалии варьировали от 1,4 до 2,2 °C) и наиболее низкой в 2020 г. (аномалии составляли 0,3–0,9 °C). Разрез «Медвежий – Запад»

в этот период не выполнялся. Аномалии температуры на этих разрезах оказались несколько выше в сравнении с аномалиями на разрезе «Кольский меридиан» в силу того, что использовались нормы за разные периоды (при расчёте норм для перечисленных разрезов не привлекались 2000-е гг. с высокими температурами в отличие от нормы для разреза «Кольский меридиан»). В целом, по данным наблюдений на разрезах, температура вод основных тёплых течений Баренцева моря в 2016–2020 гг. превышала норму и находилась на уровне тёплых и аномально тёплых лет, но вместе с тем в её изменениях отмечалась тенденция на понижение.

Океанографические условия (поверхность, 100 м и дно). Температура поверхности моря (ТПМ),³ осреднённая по площади для юго-западной (71–74° с.ш., 20–40° в.д.) и юго-восточной (69–73° с.ш., 42–55° в.д.) частей Баренцева моря, в значительной степени зависит от температуры воздуха, которая рассматривалась выше: для периода с 1982 по 2020 гг. между среднегодовыми значениями температуры воды и воздуха выявлена статистически значимая тесная связь с коэффициентами корреляции 0,90 для запада моря и 0,89 — для востока. Таким образом, характер изменений, происходящих в ТПМ, во многом повторяет тот, что присущ температуре воздуха. Так в 1982–2020 гг. в изменениях температуры поверхности моря также отмечались статистически значимые положительные тренды (p -value = 0,000), прирост среднегодовой температуры составил в среднем 0,04 °C в год как на западе, так и на востоке моря (рис. 7). С 2004 г. в Баренцевом море наблюдается период высоких ТПМ, которые достигли в 2016 г. максимальных значений с 1982 г. (в среднем за год 6,6 °C при норме 5,1 °C — на западе моря и 4,8 °C при норме 2,6 °C — на востоке).

В 2016–2020 гг. ТПМ в подавляющем большинстве месяцев по-прежнему превышала норму (см. рис. 7), а в отдельные — достигала максимальных значений с 1982 г. (табл. 1). При этом наиболее низкие положительные аномалии ТПМ, а в некоторые месяцы слабые отрицательные, наблюдались в 2019 г., когда штормовая активность и температура воздуха над морем были также самыми низкими в сравнении с остальными годами рассматриваемого периода. И хотя температура поверхности моря в 2016–2020 гг. была по-прежнему выше нормы, в её сред-

негодовых значениях визуально прослеживается, наиболее отчётливо с 2016 по 2019 гг., тенденция на понижение как на западе, так и на востоке Баренцева моря (см. рис. 7). Но, несмотря на это, тренд, выделенный на основе среднегодовых аномалий за 2016–2020 гг., оказался статистически незначимым (p -value = 0,291) на востоке моря и значимым лишь с вероятностью 91% (p -value = 0,085) на западе. Однако, при использовании среднемесячных аномалий за период с января 2016 г. по декабрь 2020 г. значимость трендов существенно выросла (p -value составило 0,036 на востоке и 0,000 на западе), что указывает на статистически значимое уменьшение среднемесячных аномалий ТПМ как на востоке, так и на западе Баренцева моря (см. рис. 7).

В Баренцевом море ежегодно в августе-октябре выполняется совместная российско-норвежская экосистемная съёмка, которая покрывает сеткой океанографических станций практически всё море, предоставляя уникальные данные по условиям морской среды. По данным этой съёмки, в 2016–2020 гг. температура поверхностных, промежуточных и придонных вод в Баренцевом море была в целом выше среднеевропейского уровня с максимальными положительными аномалиями в 2016 г., при этом на протяжении этого периода наблюдалась тенденция уменьшения как положительных аномалий температуры, так и площади, занятой ими (табл. 2, рис. 8). Лишь в 2020 г. поверхностные воды оказались значительно теплее среднеевропейского уровня практически на всей исследованной акватории, что произошло из-за аномально высокой температуры воздуха в летне-осенний период. Площадь, занятая отрицательными аномалиями температуры воды, наоборот, имела тенденцию к росту в 2016–2020 гг. и была максимальной в 2019 г. (см. табл. 2 и рис. 8). Наибольшие положительные аномалии температуры воды наблюдались в основном в восточной и юго-восточной частях Баренцева моря, а отрицательные — в его северной и юго-западной частях (см. рис. 8).

В 2016–2020 гг. в изменениях солёности поверхностных, промежуточных и придонных вод Баренцева моря наблюдалась тенденция к распреснению (рис. 9). Площади, занятые положительными аномалиями солёности на поверхности, 100 м и у дна, уменьшились, соответственно, с 92, 79 и 77% в 2016 г. до 40, 17 и 15% в 2020 г., а площади, занятые отрицательными аномалиями, наоборот, увеличились, и если в 2016–2018 гг. они составляли менее половины исследованной акватории, то в 2019 г. на 100 м и у дна уже превышали две трети, а в 2020 г. — четыре пятых акватории (см. табл. 2). В результате, в августе-октябре

³ SST fields from NOAA NCEP EMC CMB GLOBAL Reyn_SmithOlv2 monthly. Climate Modeling Branch, National Centers for Environmental Prediction, National Oceanic and Atmospheric Administration. IRIDL. 20.03.2021. Accessible via: <http://iridl.ldeo.columbia.edu>.

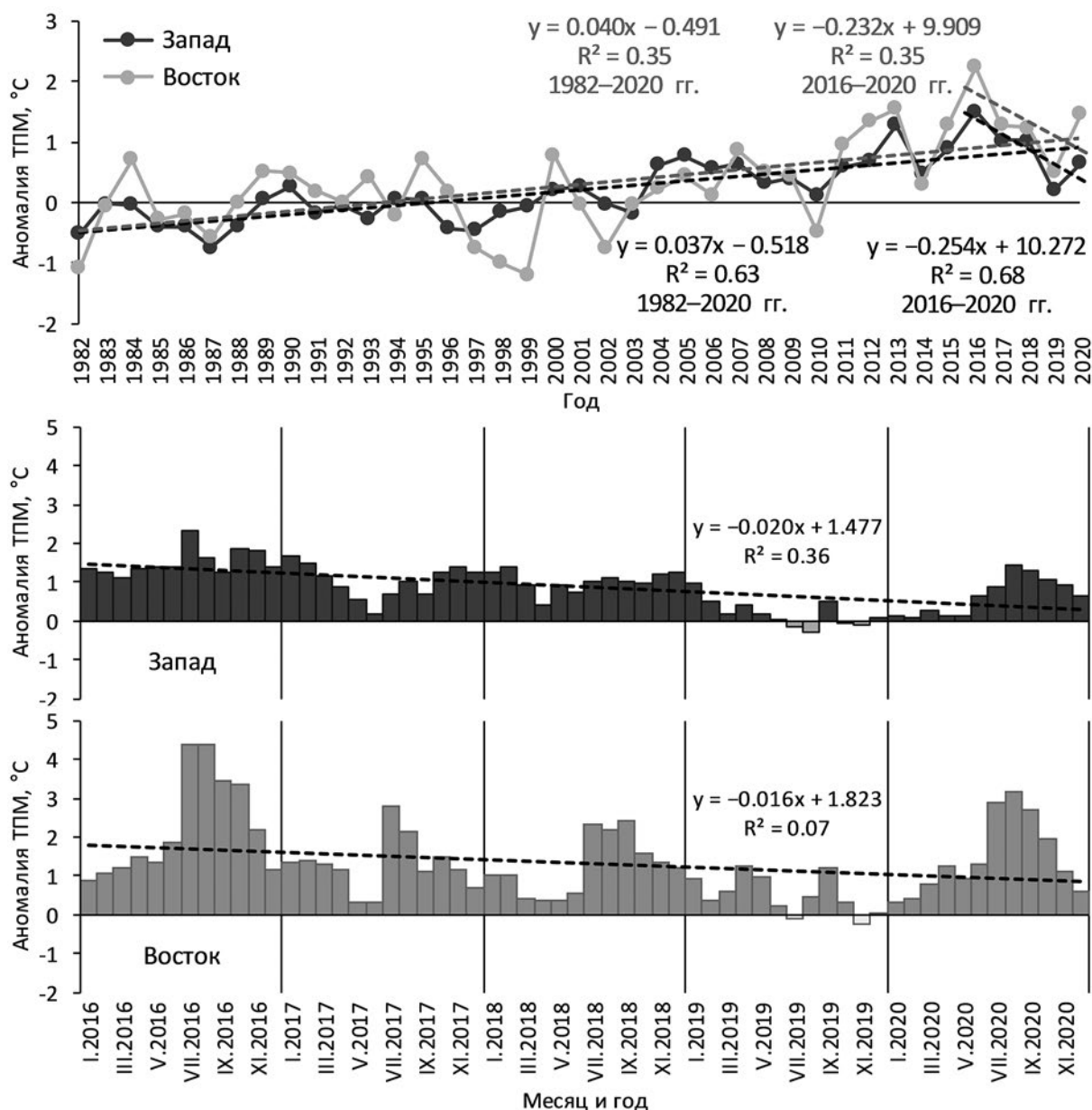


Рис. 7. Аномалии температуры поверхности моря в западной и восточной частях Баренцева моря: среднегодовые в 1982–2020 гг. (сверху) и среднемесячные в 2016–2020 гг. (снизу). Пунктирная линия – линейный тренд

Fig. 7. Sea surface temperature anomalies in the western and eastern Barents Sea: annual mean values in 1982–2020 (upper) and monthly mean values in 2016–2020 (lower). The dashed line shows a linear trend

Таблица 1. Рекордно высокие среднемесячные значения ТПМ в западной и восточной частях Баренцева моря с 1982 г.

Table 1. Record-high monthly mean SST in the western and eastern Barents Sea since 1982

Месяц	Западная часть Баренцева моря			Восточная часть Баренцева моря		
	Год	Фактическая ТПМ, °С	Норма, °С	Год	Фактическая ТПМ, °С	Норма, °С
Январь	2017	5,2	3,5	2017	2,1	0,8
Февраль	2017	4,6	3,2	2017	1,6	0,3
Март	2017	4,3	3,1	2017	1,4	0,1
Апрель	2016	4,5	3,2	2016	1,5	0,0
Май	2016	5,4	4,0	2016	2,3	0,9

Окончание табл. 1

Месяц	Западная часть Баренцева моря			Восточная часть Баренцева моря		
	Год	Фактическая ТПМ, °С	Норма, °С	Год	Фактическая ТПМ, °С	Норма, °С
Июнь	2013	7,2	5,5	2015	4,5	2,5
Июль	2016	10,0	7,7	2016	9,7	5,4
Август	2013	11,1	8,6	2016	11,3	7,0
Сентябрь	2013	9,7	7,6	2016	9,6	6,1
Октябрь	2016	7,7	5,8	2016	7,3	4,0
Ноябрь	2016	6,4	4,6	2016	4,3	2,2
Декабрь	2015	5,7	4,0	2018	2,7	1,5

Таблица 2. Площади Баренцева моря (А, % от исследованной акватории), занятые положительными и отрицательными аномалиями температуры и солёности воды, а также средние по площади значения положительных и отрицательных аномалий температуры (ΔT , °С) и солёности (ΔS)

Table 2. Areas of the Barents Sea (A,% of the surveyed area) occupied by positive and negative anomalies of water temperature and salinity as well as area-averaged positive and negative anomalies of temperature (ΔT , °C) and salinity (ΔS)

Горизонт	Аномалия температуры				Аномалия солёности			
	положительная		отрицательная		положительная		отрицательная	
	А, %	ΔT , °С	А, %	ΔT , °С	А, %	ΔS	А, %	ΔS
2016 г.								
Поверхность	100	1,85	0	–	92	0,44	8	–0,10
100 м	100	1,47	0	–	79	0,06	21	–0,05
Дно	100	1,63	0	–	77	0,08	23	–0,10
2017 г.								
Поверхность	83	1,08	17	–0,77	64	0,30	36	–0,26
100 м	90	0,77	10	–0,54	51	0,05	49	–0,05
Дно	88	1,10	12	–1,03	59	0,07	41	–0,06
2018 г.								
Поверхность	92	0,98	8	–0,26	87	0,48	13	–0,10
100 м	89	0,73	11	–0,29	50	0,06	50	–0,07
Дно	89	0,78	11	–0,41	68	0,05	32	–0,06
2019 г.								
Поверхность	63	0,71	37	–0,46	53	0,32	47	–0,26
100 м	64	0,73	36	–0,45	31	0,08	69	–0,06
Дно	72	0,83	28	–0,80	31	0,06	69	–0,07
2020 г.								
Поверхность	94	1,45	6	–0,72	40	0,30	60	–0,16
100 м	73	0,46	27	–0,43	17	0,04	83	–0,07
Дно	70	0,60	30	–0,59	15	0,07	85	–0,08

2016–2018 гг. в Баренцевом море всё ещё преобладали положительные аномалии солёности, а в 2019 и 2020 гг. — уже отрицательные. Наибольшие аномалии солёности как положительные, так и отрицательные (более 0,1 по абсолютной величине) наблюдались в поверхностных водах, тогда как в промежуточных и придонных водах средние по площади положитель-

ные и отрицательные аномалии не превышали по абсолютной величине 0,1 (см. табл. 2).

Согласно данным совместной российско-норвежской осенней съёмки Баренцева моря, выполняемой с 1965 г., с конца 1970-х гг. происходило увеличение площади атлантических вод (>3 °С): отмечался статистически значимый положительный тренд

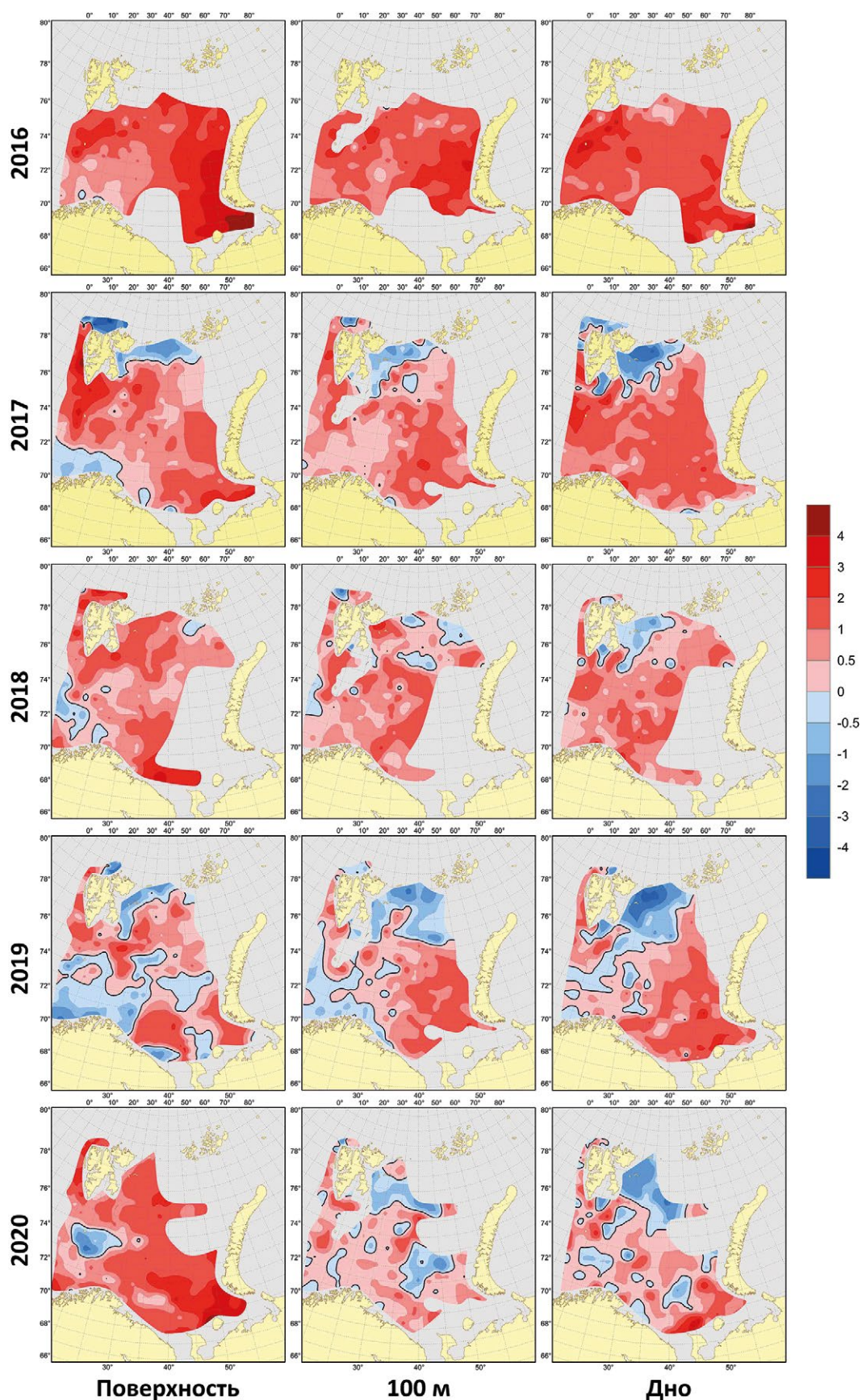


Рис. 8. Аномалии температуры (°C) поверхностного слоя, на 100 м и у дна в Баренцевом море в августе-октябре 2016–2020 гг.
Fig. 8. Temperature anomalies (°C) at the surface, 100 m and near the bottom in the Barents Sea in August–October 2016–2020

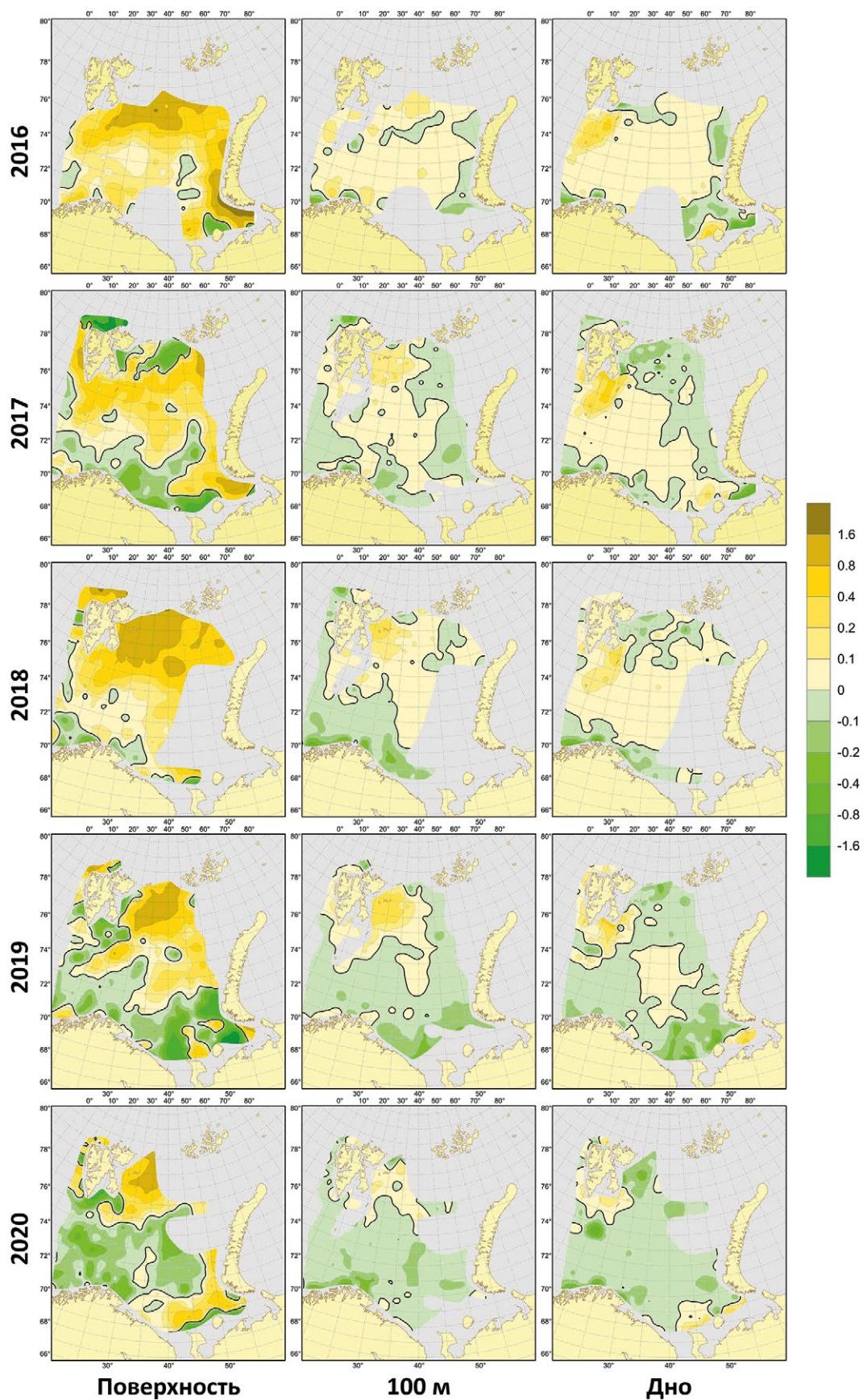


Рис. 9. Аномалии солёности поверхностного слоя, на 100 м и у дна в Баренцевом море в августе-октябре 2016–2020 гг.

Fig. 9. Salinity anomalies at the surface, 100 m and near the bottom in the Barents Sea in August-October 2016–2020

(p -value = 0,000), при котором площадь увеличивалась в среднем на 4,0 тыс. км² в год (рис. 10). Площадь арктических вод ($<0^{\circ}\text{C}$), наоборот, уменьшалась: в её изменениях наблюдался статистически значимый отрицательный тренд (p -value = 0,000), при котором она сокращалась в среднем на 6,5 тыс. км² в год. В 2016 г. площадь атлантических вод достигла максимального значения (402 тыс. км² при норме 233 тыс. км²) за весь период наблюдений, а площадь арктических – минимального (91 тыс. км² при норме 291 тыс. км²) (см. рис. 10). В 2017–2020 гг. атлантические воды по-прежнему занимали достаточно большую площадь (293–341 тыс. км²), а арктические – небольшую (158–189 тыс. км²). Тем не менее, в последние годы (2016–2020) в Баренцевом море наблюдается отчётливая тенденция сокращения площади атлантических вод (p -value = 0,047) и увеличения площади арктических (p -value = 0,080).

С 2000 г. площадь, занятая в августе-октябре холодными придонными водами ($<0^{\circ}\text{C}$), была наибольшей в 2003 г. (63% от расчётной области) и очень небольшой (3–11%) в 2007, 2008, 2012 и 2016–2018 гг. (рис. 11). В 2016 г. она достигла рекордно низкого значения 3% (с 1965 г.) и с тех пор увеличивается вот уже на протяжении последних четырёх лет, достигнув в 2020 г. 38% – максимального значения за последние десять лет. Площадь, занятая тёплыми придонными водами ($>1^{\circ}\text{C}$), напротив, в 2003 г. была наименьшей (19%) с 2000 г., а в 2006–2008, 2012 и 2016–

2018 гг. – достаточно большой (45–59%) с максимальным значением (59%) в 2016 г., тогда как в 2019 и 2020 гг. она существенно сократилась, достигнув 25 и 27%, соответственно (см. рис. 11). С 2016 г. в изменениях площади холодных и тёплых придонных вод наблюдаются статистически значимые тренды: положительный (p -value = 0,011) – для холодных вод и отрицательный (p -value = 0,020) – для тёплых.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С начала 1980-х гг. в Баренцевом море на фоне увеличения штормовой активности наблюдается тенденция на потепление: среднегодовая температура воздуха повышалась в среднем на $0,05^{\circ}\text{C}$ в год на западе моря и на $0,10^{\circ}\text{C}$ – на востоке, а среднегодовая температура поверхности моря и атлантических вод на разрезе «Кольский меридиан» – на $0,04^{\circ}\text{C}$ в год, площадь атлантических вод увеличивалась на 4,0 тыс. км² в год, тогда как средняя за год ледовитость моря сокращалась на 0,6% в год, а площадь арктических вод – на 6,5 тыс. км² в год. При этом солёность атлантических вод на разрезе «Кольский меридиан» возрастала в среднем на 0,004 в год, но с 2004 г. в её изменениях наметилась тенденция на снижение, наиболее отчётливо проявившаяся с 2011 по 2016 гг.

Пик потепления в Баренцевом море наблюдался в 2016 г., когда были отмечены максимальные среднегодовые значения температуры воздуха с 1948 г.

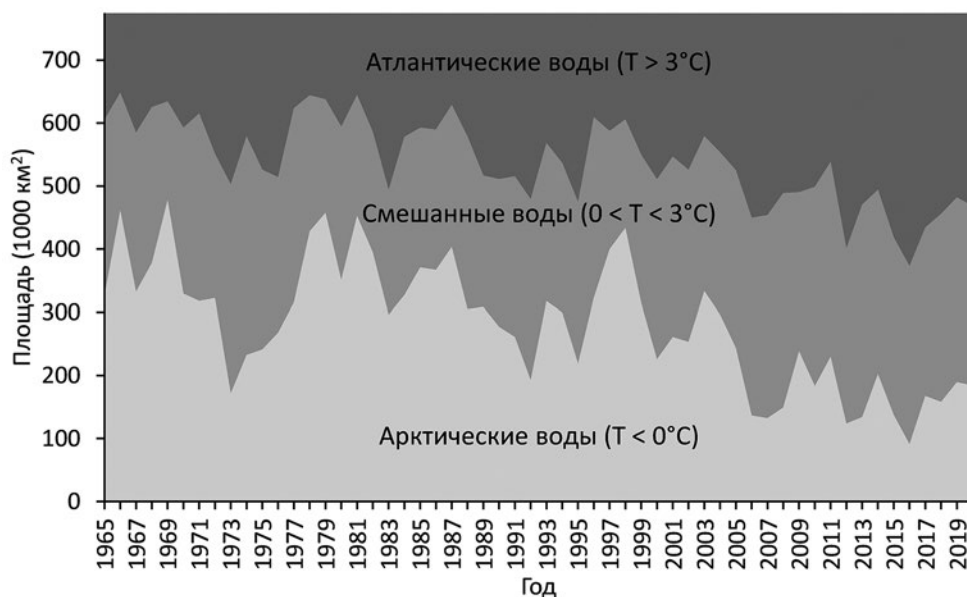


Рис. 10. Площади водных масс в Баренцевом море (71–79° с.ш., 25–55° в.д.) в августе-октябре 1965–2020 гг. (на основе температуры, осреднённой в слое 50–100 м)

Fig. 10. Areas of water masses in the Barents Sea (71–79°N, 25–55°E) in August–October 1965–2020 (based on 50–100 m averaged temperature)

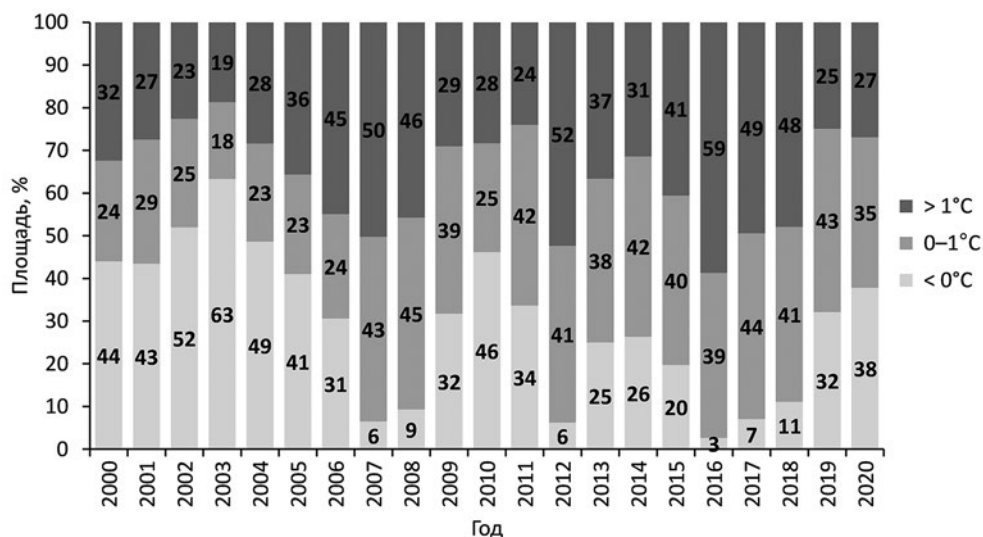


Рис. 11. Площади, занятые придонными водами с разной температурой в Баренцевом море (71–79° с.ш., 25–55° в.д.) в августе-октябре 2000–2020 гг. Цифры – площади вод в процентах

Fig. 11. Areas covered by bottom waters with different temperatures in the Barents Sea (71–79°N, 25–55°E) in August-October 2000–2020. The figures are areas of water masses in percent

(3,3 °C при норме 1,2 °C – на западе моря и 1,1 °C при норме –2,6 °C – на востоке), температуры поверхности моря с 1982 г. (6,6 °C при норме 5,1 °C – на западе моря и 4,8 °C при норме 2,6 °C – на востоке) и температуры атлантических вод на разрезе «Кольский меридиан» с 1900 г. (5,32 °C при норме 4,22 °C, второй максимум после 2012 г. – 5,36 °C), а также минимальная среднегодовая ледовитость моря с 1951 г. (14,5% при норме 34,3%). В осенний период 2016 г. площадь атлантических вод была максимальной (402 тыс. км² при норме 233 тыс. км²), а площадь арктических – минимальной (91 тыс. км² при норме 291 тыс. км²) с 1965 г.

С 2016 г., несмотря на сохранение тёплых, мало-ледных и штормовых условий в Баренцевом море, отмечается тенденция на понижение его теплового состояния: происходит снижение температуры воздушных и водных масс, а также сокращение площади, занятой атлантическими водами, тогда как ледовитость моря и площади, занятые арктическими и холодными придонными водами, увеличиваются. При этом штормовая активность в последние годы остаётся на высоком уровне (142–161 штормовых дней за год при норме 104 дня), а солёность атлантических вод на разрезе «Кольский меридиан» – низкой (в среднем за год 34,69–34,74 при норме 34,77) без какой-либо выраженной тенденции изменения, хотя в осенний период в поверхностных, промежуточных и придонных водах Баренцева моря в эти годы отмечается тенденция к распреснению.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов.

Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания «ПИНРО им. Н.М. Книповича» по теме «Оценка состояния, распределения, численности и воспроизводства водных биологических ресурсов, а также среды их обитания».

ЛИТЕРАТУРА

- Гершанович Д.Е., Муромцев А.М. 1983. Океанологические основы биологической продуктивности Мирового океана. Л.: Гидрометеиздат. 320 с.
- Елисеева И.И., Юзбашев М.М. 2004. Общая теория статистики. М.: Финансы и статистика. 656 с.
- Ижевский Г.К. 1961. Океанологические основы формирования промысловой продуктивности морей. М.: Пищепромиздат. 215 с.
- Карсаков А.Л., Трофимов А.Г., Ившин В.А., Анциферов М.Ю., Густоев Д.В., Аверкиев А.С. 2018. Восстановление данных по температуре воды на разрезе «Кольский меридиан» в 2016–2017 гг. // Труды ВНИРО. Т. 173. С. 193–206. doi:10.36038/2307–3497–2018–173–193–206.
- Коросов А.В., Горбач В.В. 2007. Компьютерная обработка биологических данных. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ. 76 с.
- Ожигин В.К., Ившин В.А., Трофимов А.Г., Карсаков А.Л., Анциферов М.Ю. 2016. Воды Баренцева моря: структура, циркуляция, изменчивость. Мурманск: Изд-во ПИНРО. 260 с.

- Ожигин В.К., Третьяк В.Л., Ярагина Н.А., Ившин В.А. 1999. Океанографические условия Баренцева моря и их влияние на выживание и развитие молоди северо-восточной арктической трески. Мурманск: Изд-во ПИНРО. 88 с.
- Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации — Общее резюме. 2008. М.: Росгидромет. 29 с.
- Трофимов А.Г. 2003. Динамика вод Баренцева моря и её влияние на распределение икры, личинок, 0-группы трески и пикши. Мурманск: Изд-во ПИНРО. 87 с.
- Трофимов А.Г., Карсаков А.Л., Ившин В.А. 2018. Изменения климата в Баренцевом море на протяжении последнего полувека // Труды ВНИРО. Т. 173. С. 79–91. doi:10.36038/2307–3497–2018–173–79–91.
- Фролов И.Е., Гудкович З.М., Карклин В.П., Смоляницкий В.М. 2010. Изменения климата Арктики и Антарктики — результат действия естественных причин // Проблемы Арктики и Антарктики. № 2(85). С. 52–61.
- Фролов И.Е., Гудкович З.М., Карклин В.П., Смоляницкий В.М., Клячкин С.В., Фролов С.В. 2012. Глава 10. Морской лёд // Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем. М.: Росгидромет. С. 400–429.
- Цатуров Ю.С., Клепиков А.В. 2012. Современное изменение климата Арктики: результаты нового оценочного доклада Арктического совета // Арктика: экология и экономика. № 4(8). С. 76–81.
- Шевченко А.В. 2000. Океанологические условия формирования промысловой продуктивности в морях Северо-Европейского бассейна. Мурманск: Изд-во ПИНРО. 100 с.
- Årthun M., Eldevik T., Smedsrud L.H., Skagseth Ø., Ingvaldsen R.B. 2012. Quantifying the influence of Atlantic heat on Barents Sea ice variability and retreat // J. of Climate. V. 25. № 13. P. 4736–4743. doi:10.1175/JCLI-D-11–00466.1.
- Boitsov V.D., Karsakov A.L., Trofimov A.G. 2012. Atlantic water temperature and climate in the Barents Sea, 2000–2009 // ICES J. of Marine Science. V. 69. № 5. P. 833–840. doi:10.1093/icesjms/fss075.
- Dalpadado P., Arrigo K.R., Hjelto S.S., Rey F., Ingvaldsen R.B., Sperfeld E., van Dijken G.L., Stige L.C., Olsen A., Ottersen G. 2014. Productivity in the Barents Sea — response to recent climate variability // PLoS ONE. V. 9. № 5. Art. e95273. doi:10.1371/journal.pone.0095273.
- Dalpadado P., Ingvaldsen R.B., Stige L.C., Bogstad B., Knutsen T., Ottersen G., Ellertsen B. 2012. Climate effects on Barents Sea ecosystem dynamics // ICES J. of Marine Science. V. 69. № 7. P. 1303–1316. doi:10.1093/icesjms/fss063.
- Drinkwater K.F., Miles M., Medhaug I., Otterå O.H., Kristiansen T., Sundby S., Gao Y. 2014. The Atlantic Multidecadal Oscillation: Its manifestations and impacts with special emphasis on the Atlantic region north of 60°N // J. of Marine Systems. V. 133. P. 117–130. doi:10.1016/j.jmarsys.2013.11.001.
- Eriksen E., Skjoldal H.R., Gjøsæter H., Primicerio R. 2017. Spatial and temporal changes in the Barents Sea pelagic compartment during the recent warming // Progress in Oceanography. V. 151. P. 206–226. doi:10.1016/j.pocan.2016.12.009.
- Frolov I.E., Gudkovich Z.M., Karklin V.P., Kovalev E.G., Smolyanitsky V.M. 2009. Climate Change in Eurasian Arctic Shelf Seas: Centennial Ice Cover Observations. Springer Praxis Books. 224 pp. doi:10.1007/978–3–540–85875–1.
- González-Pola C., Larsen K.M.H., Fratantoni P., Beszczynska-Möller A. (Eds.). 2020. ICES Report on Ocean Climate 2019 // ICES Cooperative Research Report. № 350. 136 pp. doi:10.17895/ices.pub.7537.
- Ingvaldsen R., Loeng H., Ottersen G., Ådlandsvik B. 2003. Climate variability in the Barents Sea during the 20th century with a focus on the 1990s // ICES Marine Science Symposia. V. 219. P. 160–168.
- Ingvaldsen R.B., Asplin L., Loeng H. 2004. The seasonal cycle in the Atlantic transport to the Barents Sea during the years 1997–2001 // Continental Shelf Research. V. 24. № 9. P. 1015–1032. doi:10.1016/j.csr.2004.02.011.
- IPCC. 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. 151 pp.
- Jakobsen T., Ozhigin V.K. (Eds.). 2011. The Barents Sea: ecosystem, resources, management. Half a century of Russian-Norwegian cooperation. Trondheim: Tapir Academic Press. 825 pp.
- Johannesen E., Ingvaldsen R.B., Bogstad B., Dalpadado P., Eriksen E., Gjøsæter H., Knutsen T., Skern-Mauritzen M., Stiansen J.E. 2012. Changes in Barents Sea ecosystem state, 1970–2009: climate fluctuations, human impact, and trophic interactions // ICES J. of Marine Science. V. 69. № 5. P. 880–889. doi:10.1093/icesjms/fss046.
- Loeng H., Drinkwater K. 2007. An overview of the ecosystems of the Barents and Norwegian Seas and their response to climate variability // Deep-Sea Research II. V. 54. № 23–26. P. 2478–2500. doi:10.1016/j.dsr2.2007.08.013.
- Maslowski W., Marble D., Walczowski W., Schauer U., Clement J.L., Semtner A.J. 2004. On climatological mass, heat, and salt transports through the Barents Sea and Fram Strait from a pan-Arctic coupled ice-ocean model simulation // J. of Geophysical Research. V. 109. Art. C03032. doi:10.1029/2001JC001039.
- Polyakov I.V., Beszczynska A., Carmack E.C., Dmitrenko I.A., Fahrbach E., Frolov I.E., Gerdes R., Hansen E., Holfort J., Ivanov V.V., Johnson M.A., Karcher M., Kauker F., Morison J., Orvik K.A., Schauer U., Simmons H.L., Skagseth O., Sokolov V.T., Steele M., Timokhov L.A., Walsh D., Walsh J.E. 2005. One more step toward a warmer Arctic // Geophysical Research Letters. V. 32. № 17. Art. L17605. doi:10.1029/2005GL023740.
- Smedsrud L.H., Esau I., Ingvaldsen R.B., Eldevik T., Haugan P.M., Li C., Lien V.S., Olsen A., Omar A.M., Otterå O.H., Risebrabakken B., Sandø A.B., Semenov V.A., Sorokina S.A. 2013. The role of the Barents Sea in the Arctic climate system // Reviews of Geophysics. V. 51. № 3. P. 415–449. doi:10.1002/rog.20017.
- Yashayaev I., Seidov D. 2015. The role of the Atlantic Water in multidecadal ocean variability in the Nordic and Barents Seas // Progress in Oceanography. V. 132. P. 68–127. doi:10.1016/j.pocan.2014.11.009.

REFERENCES

- Gershanovich D.E., Muromtsev A.M. 1983. Oceanological bases of biological productivity of the World Ocean. Leningrad: Gydrometeoizdat Press. 320 pp. (In Russ.).
- Eliseeva I.I., Yuzbashev M.M. 2004. General theory of statistics. Moscow: Finansy i Statistika Press. 656 pp. (In Russ.).
- Izhevsky G.K. 1961. Oceanological bases of forming commercial productivity of the seas. Moscow: Pishchepromizdat Press. 215 pp. (In Russ.).
- Karsakov A.L., Trofimov A.G., Ivshin V.A., Antsiferov M.YU., Gustoev D.V., Averkiev A.S. 2018. Restoration of data on water temperature in the Kola Section for 2016–2017 // Trudy VNIRO. V. 173. P. 193–206. doi:10.36038/2307–3497–2018–173–193–206. (In Russ.).
- Korosov A.V., Gorbach V.V. 2007. Computer processing of biological data. Petrozavodsk: PetrGU Press. 76 pp. (In Russ.).
- Ozhigin V.K., Ivshin V.A., Trofimov A.G., Karsakov A.L., Antsiferov M. Yu. 2016. The Barents Sea waters: structure, circulation, variability. Murmansk: PINRO Press. 260 pp. (In Russ.).
- Ozhigin V.K., Tretyak V.L., Yaragina N.A., Ivshin V.A. 1999. The Barents Sea oceanographic conditions and their impact on the survival and development of juvenile Northeast Arctic cod. Murmansk: PINRO Press. 88 pp. (In Russ.).
- Assessment report on climate change and its consequences in Russian Federation – General summary. 2008. Moscow: Rosgidromet Press. 29 pp. (In Russ.).
- Trofimov A.G. 2003. The Barents Sea circulation and its influence on the distribution of eggs, larvae, 0-group of cod and haddock. Murmansk: PINRO Press. 87 pp. (In Russ.).
- Trofimov A.G., Karsakov A.L., Ivshin V.A. 2018. Climate changes in the Barents Sea over the last half century // Trudy VNIRO. V. 173. P. 79–91. doi:10.36038/2307–3497–2018–173–79–91. (In Russ.).
- Frolov I.E., Gudkovich Z.M., Karklin V.P., Smolyanitsky V.M. 2010. Climate changes in the Arctic and Antarctic – a result of acting natural causes // Problems of the Arctic and Antarctic. № 2(85). P. 52–61. (In Russ.).
- Frolov I.E., Gudkovich Z.M., Karklin V.P., Smolyanitsky V.M., Klyachkin S.V., Frolov S.V. 2012. Chapter 10. Sea ice // Methods for assessing the effects of climate change on physical and biological systems. Moscow: Rosgidromet Press. P. 400–429. (In Russ.).
- Tsaturov Yu.S., Klepikov A.V. 2012. Present climate changes in the Arctic: results from a new assessment report of the Arctic Council // Arctic: Ecology and Economics. № 4(8). P. 76–81. (In Russ.).
- Shevchenko A.V. 2000. Oceanological conditions for forming commercial productivity in the seas of the North European basin. Murmansk: PINRO Press. 100 pp. (In Russ.).
- Arthun M., Eldevik T., Smedsrud L.H., Skagseth Ø., Ingvaldsen R.B. 2012. Quantifying the influence of Atlantic heat on Barents Sea ice variability and retreat // J. of Climate. V. 25. № 13. P. 4736–4743. doi:10.1175/JCLI-D-11–00466.1.
- Boitsov V.D., Karsakov A.L., Trofimov A.G. 2012. Atlantic water temperature and climate in the Barents Sea, 2000–2009 // ICES J. of Marine Science. V. 69. № 5. P. 833–840. doi:10.1093/icesjms/fss075.
- Dalpadado P., Arrigo K.R., Hjøllø S.S., Rey F., Ingvaldsen R.B., Sperfeld E., van Dijken G.L., Stige L.C., Olsen A., Ottersen G. 2014. Productivity in the Barents Sea – response to recent climate variability // PLoS ONE. V. 9. № 5. Art. e95273. doi:10.1371/journal.pone.0095273.
- Dalpadado P., Ingvaldsen R.B., Stige L.C., Bogstad B., Knutsen T., Ottersen G., Ellertsen B. 2012. Climate effects on Barents Sea ecosystem dynamics // ICES J. of Marine Science. V. 69. № 7. P. 1303–1316. doi:10.1093/icesjms/fss063.
- Drinkwater K.F., Miles M., Medhaug I., Otterå O.H., Kristiansen T., Sundby S., Gao Y. 2014. The Atlantic Multidecadal Oscillation: Its manifestations and impacts with special emphasis on the Atlantic region north of 60°N // J. of Marine Systems. V. 133. P. 117–130. doi:10.1016/j.jmarsys.2013.11.001.
- Eriksen E., Skjoldal H.R., Gjøsæter H., Primicerio R. 2017. Spatial and temporal changes in the Barents Sea pelagic compartment during the recent warming // Progress in Oceanography. V. 151. P. 206–226. doi:10.1016/j.pocean.2016.12.009.
- Frolov I.E., Gudkovich Z.M., Karklin V.P., Kovalev E.G., Smolyanitsky V.M. 2009. Climate Change in Eurasian Arctic Shelf Seas: Centennial Ice Cover Observations. Springer Praxis Books. 224 pp. doi:10.1007/978–3–540–85875–1.
- González-Pola C., Larsen K.M.H., Fratantoni P., Beszczynska-Möller A. (Eds.). 2020. ICES Report on Ocean Climate 2019 // ICES Cooperative Research Report. № 350. 136 pp. doi:10.17895/ices.pub.7537.
- Ingvaldsen R., Loeng H., Ottersen G., Ådlandsvik B. 2003. Climate variability in the Barents Sea during the 20th century with a focus on the 1990s // ICES Marine Science Symposia. V. 219. P. 160–168.
- Ingvaldsen R.B., Asplin L., Loeng H. 2004. The seasonal cycle in the Atlantic transport to the Barents Sea during the years 1997–2001 // Continental Shelf Research. V. 24. № 9. P. 1015–1032. doi:10.1016/j.csr.2004.02.011.
- IPCC. 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. 151 pp.
- Jakobsen T., Ozhigin V.K. (Eds.). 2011. The Barents Sea: ecosystem, resources, management. Half a century of Russian-Norwegian cooperation. Trondheim: Tapir Academic Press. 825 pp.
- Johannessen E., Ingvaldsen R.B., Bogstad B., Dalpadado P., Eriksen E., Gjøsæter H., Knutsen T., Skern-Mauritzen M., Stiansen J.E. 2012. Changes in Barents Sea ecosystem state, 1970–2009: climate fluctuations, human impact, and trophic interactions // ICES J. of Marine Science. V. 69. № 5. P. 880–889. doi:10.1093/icesjms/fss046.
- Loeng H., Drinkwater K. 2007. An overview of the ecosystems of the Barents and Norwegian Seas and their response to climate variability // Deep-Sea Research II. V. 54. № 23–26. P. 2478–2500. doi:10.1016/j.dsr2.2007.08.013.
- Maslowski W., Marble D., Walczowski W., Schauer U., Clement J.L., Semtner A.J. 2004. On climatological mass, heat, and salt transports through the Barents Sea and Fram Strait from a pan-Arctic coupled ice-ocean model simulation

- // J. of Geophysical Research. V. 109. Art. C03032. doi:10.1029/2001JC001039.
- Polyakov I.V., Beszczynska A., Carmack E.C., Dmitrenko I.A., Fahrbach E., Frohlov I.E., Gerdes R., Hansen E., Holfort J., Ivanov V.V., Johnson M.A., Karcher M., Kauker F., Morison J., Orvik K.A., Schauer U., Simmons H.L., Skagseth O., Sokolov V.T., Steele M., Timokhov L.A., Walsh D., Walsh J.E.* 2005. One more step toward a warmer Arctic // *Geophysical Research Letters*. V. 32. № 17. Art. L17605. doi:10.1029/2005GL023740.
- Smedsrud L.H., Esau I., Ingvaldsen R.B., Eldevik T., Haugan P.M., Li C., Lien V.S., Olsen A., Omar A.M., Otterå O.H., Risebrobakken B., Sandø A.B., Semenov V.A., Sorokina S.A.* 2013. The role of the Barents Sea in the Arctic climate system // *Reviews of Geophysics*. V. 51. № 3. P. 415–449. doi:10.1002/rog.20017.
- Yashayaev I., Seidov D.* 2015. The role of the Atlantic Water in multidecadal ocean variability in the Nordic and Barents Seas // *Progress in Oceanography*. V. 132. P. 68–127. doi:10.1016/j.pocean.2014.11.009.
- Поступила в редакцию 19.05.2021 г.
Принята после рецензии 12.12.2021 г.*

Среда обитания водных биологических ресурсов

Сравнительный анализ межгодовой изменчивости температуры воды поверхности юго-западной части Баренцева моря и на разрезе «Кольский меридиан»

В.Д. Бойцов¹, В.В. Гузенко²

¹ Новгородский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («НовгородНИРО»), ул. Октябрьская, д. 38, к. 2, г. Великий Новгород, 173002

² Санкт-Петербургское морское собрание, Английская набережная, д. 42, г. Санкт-Петербург, 190000

E-mail: vboitsov@mail.ru

Цель работы: определить район Баренцева моря, изменчивость годовой температуры поверхности (SST) которого имеет высокий уровень статистической сопряженности с таковой в слоях 0–50 и 0–200 м на разрезе «Кольский меридиан», пересекающего поток атлантических вод Мурманского течения.

Используемые методы: анализ выборок температуры воды на наличие трендов, циклических компонент, корреляционно-регрессионный анализ, расчёты статистических характеристик проводились с помощью пакета MS Excel 2007. Для исследования частотной структуры межгодовых колебаний температуры воды использовался спектральный анализ, реализованный в программном комплексе «AutoSignal».

Новизна: по данным 1951–2017 гг. выявлен полигон в юго-западной части Баренцева моря с координатами 71–73° с.ш. и 31–33° в.д., средняя SST которого имеет высокую корреляционную связь с температурой воды слоя 0–50 м на разрезе «Кольский меридиан» ($r = 0,92$). Это позволяет использовать температуру поверхности для оценки её межгодовой изменчивости и для восстановления пропусков данных на разрезе.

Результат: спектральные составы колебаний температуры воды атлантического генезиса, полученной разными методами, имеют незначительные различия во всех частотных диапазонах, что определяет их тесную сопряженность. За рассмотренный 67-летний временной диапазон в 90% случаев аномалии SST на выявленном полигоне и средней температуры в слое 0–50 м на разрезе «Кольский меридиан» совпадали по знаку, а у 81% лет их разность по абсолютной величине не превышала 0,3 °C. С 1996 г. в период современного потепления вод моря в течение 22 лет отклонения температуры от норм на полигоне и разрезе были только положительными, а разность аномалий оказалась менее 0,2 °C.

Практическая значимость: с помощью данных SST на выбранном участке Баренцева моря можно восстанавливать пропуски температуры воды на разрезе «Кольский меридиан», анализировать особенности ее межгодовой изменчивости и прогнозировать динамику климата моря.

Ключевые слова: Баренцево море, SST, разрез «Кольский меридиан», корреляция.

Comparative analysis of interannual variability of water temperature on the surface of the southwestern part of the Barents Sea and on the Kola Section

Vladimir D. Boitsov¹, Vladimir V. Guzenko²

¹ Novgorod Branch of VNIRO («NovgorodNIRO»), 38 f. 2, Oktyabrskaya St., Veliky Novgorod, 173002, Russia

² St. Petersburg Maritime Assembly, English embankment 42, Saint-Petersburg, 190000, Russia

Objective: to determine the area of the Barents Sea, the variability of which annual sea surface temperature (SST) has a high level of statistical correlation with that in the layers 0–50 and 0–200 m in the Kola Section, which crosses the flow of Atlantic waters of the Murmansk current.

Using methods: analysis of water temperature data for presence of trends, cyclic components, correlation and regression analysis, calculations of statistical characteristics were performed using MS Excel 2007 package. To study the frequency structure of interannual water temperature fluctuations, the spectral analysis implemented in the software package “AutoSignal” was used.

Novelty: The 1951–2017 data revealed a polygon in the southwestern part of the Barents Sea with coordinates 71–73° N and 31–33° E, where mean SST has a high correlation with sea water temperature of the 0–50 m layer on the Kola Section ($r = 0.92$). This allows the surface temperature to be used to estimate its interannual variability and to recover data gaps on the section.

Result: spectral compositions of water temperature variations of the Atlantic genesis water, obtained by different methods, have insignificant differences in all frequency ranges, that determines their close correlation. Over the considered 67-year time range in 90% of cases SST anomalies on the identified polygon and average temperature in the 0–50 m layer on the Kola Section coincided by sign, and in 81% of years their difference in absolute value is not exceed 0.3 °C. Since 1996, during the period of modern warming of sea waters during 22 years, the temperature deviations from the norms on the polygon and on section were only positive, and the difference of anomalies was less than 0.2 °C.

Practical significance: Using SST data in a selected section of the Barents Sea, it is possible to restore water temperature gaps in the Kola Section, analyze the features of its inter-annual variability and predict the dynamics of the sea climate.

Keywords: Barents Sea, SST, Kola Section, correlation.

ВВЕДЕНИЕ

Современное потепление климата на нашей планете регистрируется на всех континентах и океанах, однако наиболее интенсивно это происходит в Арктике, поэтому здесь этот процесс получил название «арктическое усиление» [Второй оценочный ...¹; Мохов, 2015; Hartmann et al., 2013]. Многие исследователи отмечают, что основными внешними причинами аномального потепления в полярных областях являются процессы усиления меридионального переноса воздушных масс из низких широт в направлении полюса и увеличения адвекции атлантических вод в Северный Ледовитый океан [Алексеев и др., 2015; Тимохов и др., 2016; Алексеев и др., 2019; Латонин и др., 2020]. При этом амплитуда колебаний климатообразующих факторов выше в западной части российского сектора Арктики на акватории таких морей как Баренцево и Карское, чем в её восточной части [Алексеев и др., 2019; Semenov, 2008; Smedsrud, et al., 2013; Bashmachnikov et al., 2018; Yurova et al., 2018].

Из всех морей Северного Ледовитого океана, расположенных вдоль побережья России, Баренцево море является самым западным, через акваторию которого поступает значительный объём атлантических вод в морскую часть Арктики. Восточная ветвь Норвежского течения при подходе к западной границе Баренцева моря из-за особенностей рельефа дна разделяется на два основных потока. Первое ответвление пересекает его южные и восточные районы и через пролив между архипелагами Земля Франца-Иосифа и Новая Земля выходит на прилегающую северную акваторию Карского моря [Рожкова и др., 2008; Loeng et al., 1997]. Следовательно, часть тёплой воды системы Гольфстрим транзитом проходит через Баренцево море.

Второе ответвление Восточной ветви Норвежского течения в виде достаточно интенсивного Шпицбергенского течения и его продолжения следует на север через пролив Фрама вдоль свала глубин западнее архипелага Шпицберген. На акватории к северу от Шпицбергена, чаще всего покрытой льдом, более тёплые и солёные атлантические воды погружаются под холодный поверхностный слой распреснённых арктических вод. Далее атлантические воды продолжают движение на восток над континентальным склоном Евразийской глубоководной части Северного Ледовитого океана. Эти воды севернее Карского моря сливаются

с трансформированными водными массами также атлантического генезиса, которые следуют из Баренцева моря [Трешников, Баранов, 1972; Ожигин и др., 2016; Ozhigin et al., 2011]. На рис. 1 показана схема движения атлантических вод в Северный Ледовитый океан через Баренцево и пограничную с ним акваторию восточной части Гренландского морей.

В Баренцевом море, а также на его побережье и островах в зоне переноса воздушных и водных масс из Атлантики в Северный Ледовитый океан наблюдения за гидрометеорологическими параметрами проводятся с начала прошлого столетия, что позволило сформировать наиболее продолжительные их ряды по сравнению с другими арктическими морями. С помощью анализа этих данных были выполнены оценки многолетней изменчивости температуры воздуха и воды, а также интенсивности адвекции тепла в арктический регион, что необходимо для исследования состояния климатической системы и возможных изменений термохалинных и ледовых условий в высокоширотных районах [Алексеев и др., 1997; Бойцов, 2012; Smedsrud, et al., 2013].

Известно, что среди физических характеристик состояния морских вод температура является одной из наиболее важных, особенно для высоких широт. Она используется для оценки интенсивности теплообмена океана с атмосферой, динамики климата, адвекции тепла течениями, вертикальной стратификации водной толщи и других океанографических про-



Рис. 1. Схема переноса атлантических вод в Северный Ледовитый океан через Баренцево и Гренландское моря [Boitsov et al., 2012]: красный цвет — атлантические; фиолетовый — атлантические трансформированные воды

Fig. 1. Scheme of the Atlantic waters transport to the Arctic Ocean through the Barents and Greenland Seas [Boitsov et al., 2012]. Red — Atlantic waters; purple — Atlantic transformed waters

¹ Второй оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. 2014. / ред. Катцов В.М., Семенов С.М. М.: Росгидромет. 1009 с. Доступно через: <http://cc.voeikovmgo.ru/ru/publikatsii/2016-03-21-16-23-52>. 15.07.2021.

цессов. Температура воды как абиотический фактор играет важную роль в развитии морских экосистем.

В Баренцевом море наблюдения за температурой воды в научных и прикладных целях стали проводиться в начале 20-го столетия и за более чем 100-летний период в Полярном филиале ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н.М. Книповича) была сформирована достаточно обширная база её данных. Наиболее продолжительные временные ряды имеются на стандартном разрезе «Кольский меридиан». Он получил такое название, поскольку расположен к северу от Кольского залива вдоль меридиана $33^{\circ}30'$ в.д., океанографические станции которого пересекают участок моря от $69^{\circ}30'$ до $77^{\circ}00'$ с.ш. Однако наиболее часто наблюдения проводились на пяти станциях разреза (№ 3–7) между $70^{\circ}30' - 72^{\circ}30'$ с.ш., поскольку эту его часть пересекает Мурманское течение, которое переносит основной объём атлантической воды через южную часть Баренцева моря до его восточных мелководий, следуя затем на север с выходом в Северный Ледовитый океан (рис. 2).

На основе данных температуры атлантических вод Баренцева моря были выявлены особенности её пространственной структуры и закономерности колебаний во временных масштабах от внутрисуточных до климатических, разработаны методики прогнозов теплового состояния водных масс различной забла-

говременности, выполнена оценка степени влияния этой характеристики на развитие биотических компонент его экосистем [Бойцов, 2006; 2009; Бойцов и др., 2010; Ожигин и др., 2016; The Barents Sea..., 2011].

Однако в некоторые месяцы отдельных лет не удавалось провести наблюдения за температурой вод на разрезе «Кольский меридиан». Восстановление недостающих среднемесячных данных за такие годы обычно осуществлялось с помощью корреляционных связей с другими гидрологическими показателями или методов графической интерполяции и экстраполяции сезонного хода температуры воды. При использовании последнего способа возникали трудности, когда её измерения не были выполнены в периоды наступления сезонных экстремумов и в ближайшие к ним месяцы. В такие годы могли возникать ошибки реконструированных значений температуры воды. Ещё более сложная ситуация возникала при отсутствии наблюдений в течение нескольких месяцев подряд. В этих случаях приходилось применять математические методы, которые требовали высокого уровня их знаний и навыков использования. Так с июня 2016 по май 2017 гг. измерения температуры воды на разрезе выполнить не удалось. Для восстановления недостающих данных на разрезе «Кольский меридиан» за 12 месяцев этих лет были проведены специальные исследования [Карсаков и др., 2018].

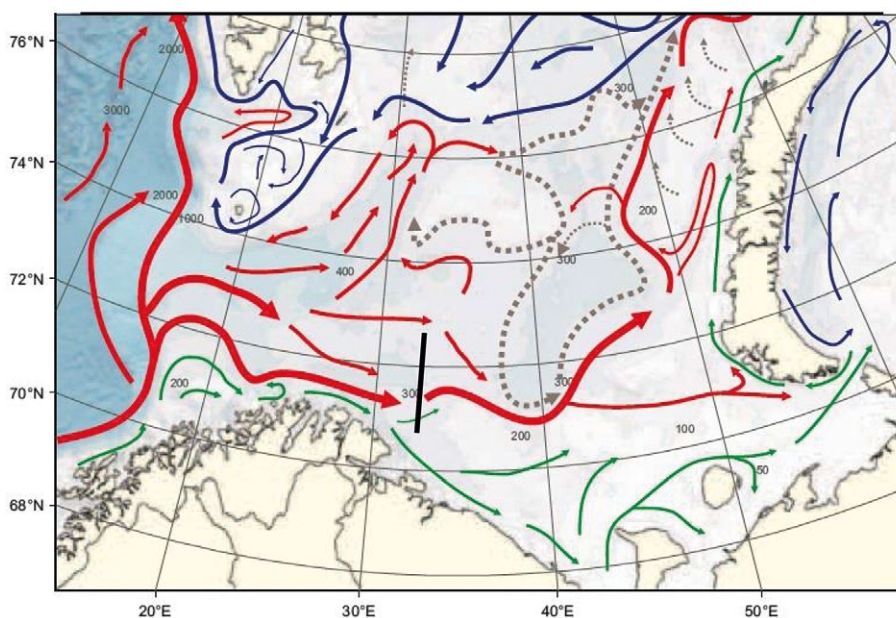


Рис. 2. Циркуляции основных водных масс Баренцева моря: красный цвет – воды атлантического происхождения; синий – арктические воды; зелёный – прибрежные воды; пунктир – холодные донные воды. — — — разрез «Кольский меридиан» вдоль $33^{\circ}30'$ в.д. между $70^{\circ}30' - 72^{\circ}30'$ с.ш. (станции 3–7)

Fig. 2. Circulation of the main water masses of the Barents Sea: red – Atlantic waters; blue – Arctic waters; green – coastal waters; dotted line – cold bottom waters. — — — «Kola Section» is located along the $33^{\circ}30'$ E longitude between $70^{\circ}30' - 72^{\circ}30'$ N (stations 3–7)

Отсутствие возможности реконструировать месячные значения температуры воды на разрезе «Кольский меридиан», а значит и её средних годовых данных, может сказаться на уменьшении точности прогнозов распределения основных объектов промысла в Баренцевом море в течение года, заблаговременной оценки уровня урожайности поколений, впервые вступающих в промысловые стада популяций рыб. Кроме того, пропуски в наблюдениях за показателем адвекции тёплых водных масс из Северной Атлантики через Баренцево море в Северный Ледовитый океан уменьшают точность оценок изменчивости теплосодержания водных масс и климата не только на акватории их транзита, но и морской части Арктики. Поэтому необходимо найти альтернативные показатели, с помощью которых можно анализировать сезонные и межгодовые колебания температуры атлантических вод, поступающих в Баренцево море.

В последнее время при исследовании пространственно-временной изменчивости теплового состояния водных масс, динамики климата и других процессов в океанах и морях используется температура их поверхности (SST) из архива реанализа ERSST. Он представляет собой выборки, полученные в результате обработки несколькими методами ранее измеренной температуры разными приборами и способами, а также с учётом параметров, которые физически связаны с теплосодержанием водных масс, например, ледовитость морей [Smith, Reynolds, 2003; Huang et al., 2018]. Данные SST уже использовались при изучении особенностей пространственного распределения и временной изменчивости температуры поверхности воды Северной Атлантики [Малинин, Шмакова, 2018; Sutton, Hodson, 2005] и Северного Ледовитого океана [Smedsrud et al. 2013].

Данные температуры поверхности вод Северного и Балтийского морей (SST) также применялись при исследовании её межгодовой и многолетней динамики не только для всей их акватории, но и для отдельных районов за различные периоды лет и сезоны [Серых, Костяной, 2018; Бойцов, 2021; Belkin, 2009; Lehmann et al., 2011; Gustafsson, 2015]. В работе [Хаймина и др., 2012] при исследовании вековой изменчивости климата морей северо-запада России в качестве одной из характеристик его состояния анализировались месячные значения SST Балтийского, Баренцева и Белого морей за 1900–2009 гг.

Таким образом, результаты использования многими специалистами данных SST из архива реанализа ERSST говорят о достаточно высокой репрезентативности этого океанографического показателя при изучении особенностей пространственно-временной из-

менчивости теплового состояния поверхностных вод морей и океанов.

Цель настоящей работы состояла в том, чтобы определить район Баренцева моря, данные годовой температуры поверхности (SST) которого за многолетний период имели наиболее высокий уровень статистической сопряжённости со средней температурой в слоях 0–50 и 0–200 м на разрезе «Кольский меридиан», пересекающего поток атлантических вод Мурманского течения. При наличии такой связи появляется возможность иметь дополнительный показатель для оценки межгодовой изменчивости теплосодержания этих водных масс в южной части Баренцева моря и использовать его в случае отсутствия инструментальных наблюдений на разрезе.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Анализ межгодовых колебаний температуры поверхности Баренцева моря (SST) в 1900–2020 гг. проводился по данным её месячных значений, осреднённых в трапециях площадью $2 \times 2^\circ$ по долготе и широте, которые были взяты из архива NOAA NCDC ERSST.² На рис. 3 показано положение центров 18 трапеций, температура которых использовалась в расчётах. Все они расположены западнее участка разреза «Кольский меридиан» в основном в пределах климатического положения потока атлантических вод (см. рис. 2).

В работе также анализировалась средняя месячная и годовая температура воды Мурманского течения слоя 0–50 м за 1951–2017 гг., а также 0–200 м за 1900–2017 гг. для участка разреза «Кольский меридиан» вдоль $33^\circ 30'$ в.д. между $70^\circ 30' - 72^\circ 30'$ с.ш. (3–7 стандартные океанографические станции) (см. рис. 3). Эти данные чаще всего использовались в Полярном филиале ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО») для анализа особенностей внутригодового хода температуры воды и при составлении её долгосрочных прогнозов, а также для оценки степени влияния тёплого состояния водных масс на особенности распределения рыб на акватории Баренцева моря, динамику их промысловых запасов и вылова. Данные температуры имеются на сайте ПИНРО.³ На время выполнения настоящей работы значения этого параметра после 2017 г. на нём отсутствовали.

Анализ выборок на наличие линейного и нелинейного трендов, низкочастотных циклических компонент, выполнение корреляционно-регрессионного анализа, расчётов статистических характеристик проводились с помощью пакета MS Excel 2009. Ста-

² NOAA. Accessible via: <https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/> 15.07.2021.

³ ПИНРО. Доступно через: <http://www.pinro.vniro.ru/> 15.07.2021.

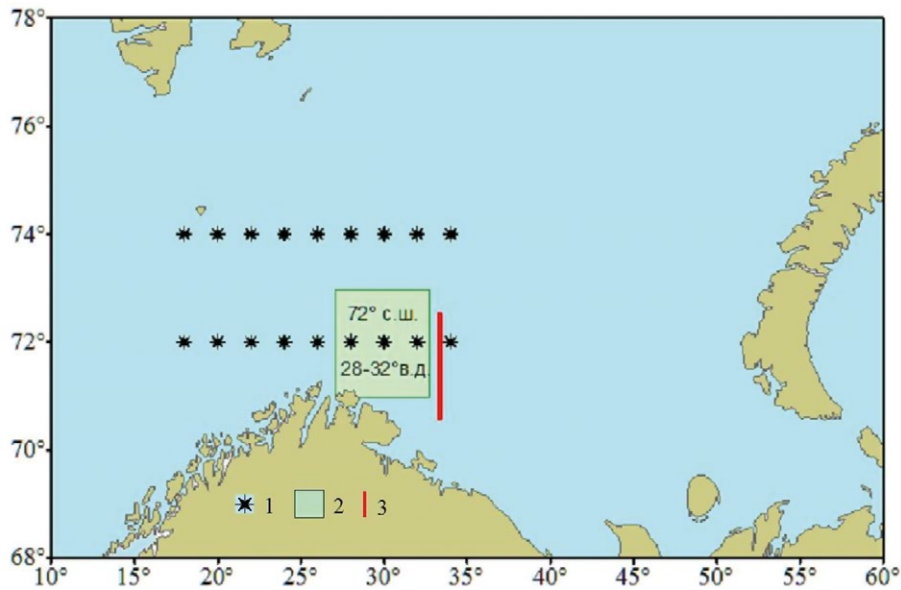


Рис. 3. Положение центров трапеций $2 \times 2^\circ$ по широте и долготе (1), полигона с координатами $71-73^\circ$ с.ш., $27-33^\circ$ в.д. (2), для которого рассчитана средняя SST, и разреза «Кольский меридиан» (станции 3–7) с координатами $33^\circ 30'$ в.д. и $70^\circ 30' - 72^\circ 30'$ с.ш. (3)

Fig. 3. The location of the trapeziums centers of the $2 \times 2^\circ$ for latitude and longitude (1), the polygon with coordinates $71-73^\circ$ N, $27-33^\circ$ E (2) where the average SST was calculated, and the «Kola Section» with coordinates $33^\circ 30'$ E and $70^\circ 30' - 72^\circ 30'$ N (3)

тистическая значимость их вычисленных коэффициентов оценивалась по критерию Стьюдента с уровнем доверительной вероятности $\gamma = 0,95$ или $\gamma = 0,99$. При расчете аномалий температуры воды на разрезе «Кольский меридиан» Баренцева моря и SST на полигоне юго-западной части моря использовались её средне многолетние значения за период 1951–2017 гг.

Для исследования частотной структуры межгодовых колебаний температуры воды на разрезе «Кольский меридиан» Баренцева моря и его поверхности (SST) использовался спектральный анализ временных рядов, реализованный в программном комплексе «AutoSignal» [Users Guide, 2003].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На начальном этапе исследований был выполнен поиск наиболее высокой статистической связи между годовой температурой воды слоя 0–50 м на участке разреза «Кольский меридиан», пересекающего Мурманское течение, и годовыми данными SST 18 трапеций $2 \times 2^\circ$ по широте и долготе на акватории юго-западной части Баренцева моря. В результате корреляционного и кросс корреляционного анализов установлено, что наибольшая сопряжённость по данным за 1951–2017 гг. оказалась между температурами на разрезе и средней SST трёх трапеций, центрами которых являются меридианы $28, 30$ и 32° в.д., пересекающие параллель 72° с.ш. (см. рис. 3). Коэффициент корреляции составил $r = 0,92$ (рис. 4). Эта акватория

моря расположена между $71-73^\circ$ с.ш. и $27-33^\circ$ в.д. Её восточная граница находится на расстоянии менее 20 км от разреза «Кольский меридиан». В дальнейшем данный участок Баренцева моря будем именовать полигоном.

Сравнительный анализ аномалий годовой температуры воды слоя 0–50 м на разрезе «Кольский меридиан» и SST на полигоне юго-западной части Баренцева моря за 1951–2017 гг. относительной средних величин за этот период показал, что из 67 лет только в семи из них они не совпадали по знаку, а в 90% случаев были одинаковыми. Причём, с 1996 г. до конца рассматриваемого периода, т.е. в течение большей части фазы современного потепления атлантических водных масс знаки аномалии их температуры совпадали и были только положительными.

Наибольшие отклонения температуры воды от средне многолетнего уровня слоя 0–50 м на разрезе «Кольский меридиан» и SST на полигоне зафиксированы в 2016 г. ($1,5$ и $1,3^\circ\text{C}$ соответственно). Самое значительное похолодание также отмечено в один и тот же 1966 г., когда на разрезе температура на $1,2^\circ\text{C}$, а на полигоне – на $0,9^\circ\text{C}$ была ниже их средних многолетних значений (рис. 5).

Разность абсолютных величин аномалий годовой температуры воды слоя 0–50 м на разрезе «Кольский меридиан» и SST на полигоне юго-западной части Баренцева моря в 1951–2017 гг. варьировала в диапазоне от $0,00$ до $0,60^\circ\text{C}$, который был разбит на шесть

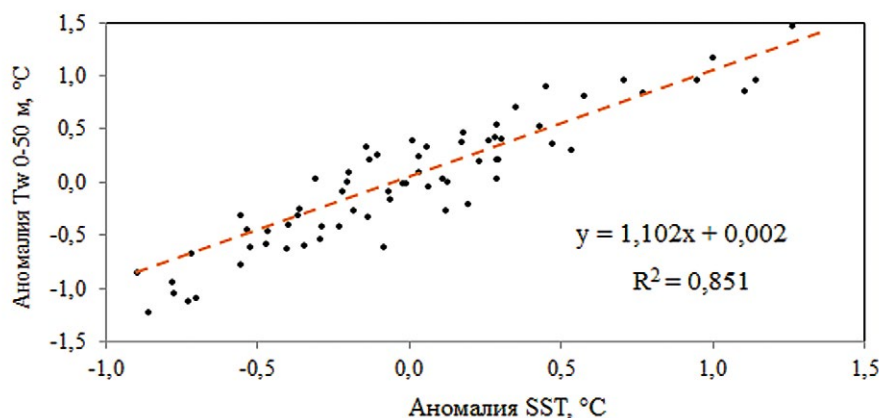


Рис. 4. Диаграмма рассеивания аномалий годовой температуры воды слоя 0–50 м на 3–7 станциях разреза «Кольский меридиан» и SST Баренцева моря на полигоне за 1951–2017 гг. Пунктир – график линейной регрессии параметров

Fig. 4. Scatter plot of the annual water temperature anomalies in the 0–50 m layer at 3–7 stations of the Kola Section and SST of the Barents Sea at the polygon for 1951–2017. Dotted line – a graph of linear regression parameters

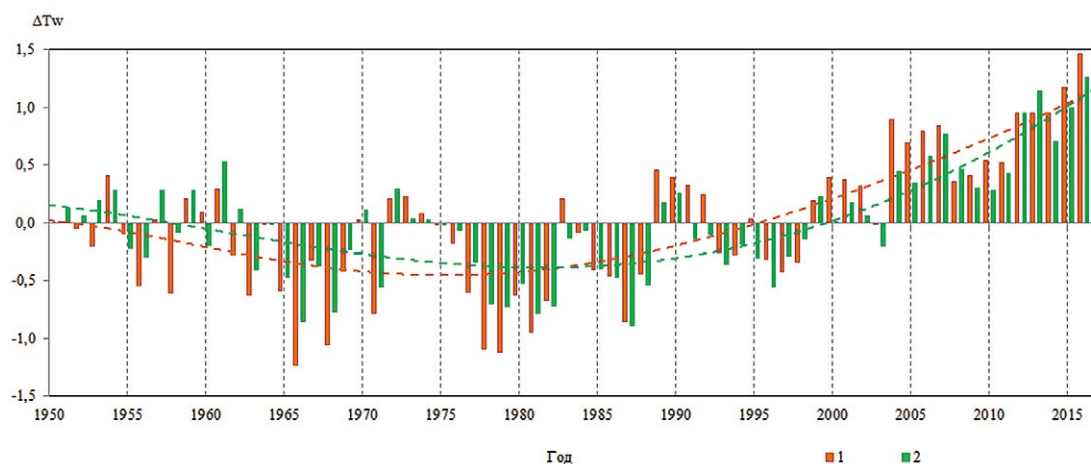


Рис. 5. Аномалии годовой температуры воды слоя 0–50 м на 3–7 станциях разреза «Кольский меридиан» (1) и средней SST на полигоне юго-западной части Баренцева моря (2) в 1951–2017 гг. Пунктирная линия – нелинейный тренд

Fig. 5. Anomalies of the annual water temperature in the 0–50 m layer at 3–7 stations of the Kola Section (1) and average SST at the polygon in the southwestern part of the Barents Sea (2) for 1951–2017. Dotted line – a non-linear trend

интервалов. Частота разности температуры в пределах первых двух интервалов (0,00–0,09 и 0,10–0,19 °C) оказалась одинаковой (25,4%). Чаще всего, она отмечалась в диапазоне 0,21–0,29 °C (29,8%). Частота встречаемости разности аномалий температуры в диапазоне первых трёх интервалов (0,00–0,29 °C)

составляет 80,7%. На остальные три градации разности аномалий, которая определена разными методами, приходится 19,3% (табл. 1). В последнюю градацию попал только 1958 г., для которого разность аномалий составила 0,53 °C. Средняя температура воды на разрезе в этом году оказалась на 0,61 °C ниже

Таблица 1. Частота разности годовых аномалий температуры воды слоя 0–50 м на разрезе «Кольский меридиан» и средней SST на полигоне юго-западной части Баренцева моря без учёта знака по данным за 1951–2017 гг.

Table 1. The frequency of the difference value of the annual water temperature anomalies in the 0–50 m layer of the Kola Section and the average SST for the polygon in the south-western part of the Barents Sea without account the sign for 1951–2017

Показатель	Интервалы аномалий, °C					
Диапазон	00,0–0,09	0,10–0,19	0,20–0,29	0,30–0,39	0,40–0,49	>0,50
Число лет	17	17	20	7	5	1
Частота	25,4%	25,4%	29,8%	10,4%	7,5%	1,5%

многолетней средней, тогда как по данным SST она лишь на 0,08 °C была её меньше. Анализ годового хода температуры воздуха нескольких метеорологических станций на северном побережье Кольского полуострова показал, что 1958 г. был холодным, поэтому температура SST для него оказалась завышенной.

Как было отмечено выше, между колебаниями годовой температурой воды слоя 0–50 м на 3–7 станциях разреза «Кольский меридиан» и SST на полигоне юго-западной части Баренцева моря в 1951–2017 гг. существует высокая статистическая связь с коэффициентом корреляции $r = 0,92$. Это позволяет разработать регрессионную модель для расчёта температуры воды на разрезе по данным SST, которая имеет следующий вид:

$$y = 1,110x - 1,075,$$

где y – годовая температура воды слоя 0–50 м на разрезе; x – температура поверхности SST на полигоне юго-западной части Баренцева моря.

После расчёта температуры воды слоя 0–50 м на разрезе «Кольский меридиан» с помощью уравнения регрессии была вычислена её разность с наблюдаемыми значениями на нём для периода с 1951 по 2017 гг. (табл. 2). Средняя величина абсолютных значений разности для 67 лет составила 0,19 °C. Для проверки эффективности регрессионного уравнения разность температуры воды для каждого года сравнивалась с долей стандартного отклонения $0,67\sigma = 0,40$. В случае, если величина разности по абсолютной величине превышала 0,40 °C, считалось, что расчётное значение является неудовлетворительным. Критерий $0,67\sigma$ был превышен только в 1953, 1958, 1962 и 1991 гг., что составляет лишь 6% из 67 анализируемых лет. Следует также отметить, что в эти годы абсолютная разность сравниваемых значений температуры была ниже её стандартного отклонения ($\sigma = 0,59$). Следовательно, результаты проверки регрессионной модели показали достаточно высокий уровень

Таблица 2. Расчётная по уравнению регрессии годовая температура воды слоя 0–50 м на 3–7 станциях разреза «Кольский меридиан» Баренцева моря, её наблюдаемая величина на нём и их разность для 1951–2017 гг.

Table 1. Calculated by regression equation annual water temperature of the 0–50 m layer at 3–7 stations on the Kola Section of the Barents Sea, its observed value on it and their difference for 1951–2017

Год	Температура воды слоя 0–50 м			Год	Температура воды слоя 0–50 м			Год	Температура воды слоя 0–50 м		
	расчёт	набл.	разность		расчёт	набл.	разность		расчёт	набл.	разность
1951	5,09	4,95	0,14	1974	4,98	5,03	-0,05	1997	4,63	4,52	0,11
1952	5,02	4,90	0,12	1975	4,93	4,93	0,00	1998	4,80	4,61	0,19
1953	5,17	4,74	0,43	1976	4,88	4,78	0,10	1999	5,21	5,14	0,07
1954	5,26	5,36	-0,10	1977	4,57	4,35	0,22	2000	4,96	5,34	-0,38
1955	4,71	4,85	-0,15	1978	4,17	3,86	0,31	2001	5,14	5,32	-0,18
1956	4,62	4,41	0,22	1979	4,14	3,83	0,32	2002	5,02	5,27	-0,25
1957	5,27	4,98	0,29	1980	4,37	4,33	0,04	2003	4,73	4,94	-0,22
1958	4,86	4,34	0,52	1981	4,08	4,00	0,08	2004	5,45	5,84	-0,40
1959	5,27	5,16	0,11	1982	4,16	4,27	-0,12	2005	5,34	5,64	-0,30
1960	4,73	5,04	-0,31	1983	4,81	5,16	-0,35	2006	5,59	5,75	-0,16
1961	5,54	5,24	0,30	1984	5,03	4,86	0,17	2007	5,81	5,79	0,01
1962	5,08	4,67	0,41	1985	4,51	4,54	-0,03	2008	5,47	5,31	0,16
1963	4,50	4,32	0,18	1986	4,43	4,49	-0,06	2009	5,29	5,36	-0,07
1964	4,94	4,93	0,00	1987	3,96	4,09	-0,13	2010	5,16	5,49	-0,33
1965	4,43	4,36	0,07	1988	4,36	4,50	-0,14	2011	5,43	5,47	-0,04
1966	4,00	3,72	0,28	1989	5,15	5,40	-0,26	2012	6,00	5,90	0,10
1967	4,54	4,63	-0,08	1990	5,24	5,34	-0,10	2013	6,22	5,90	0,32
1968	4,09	3,89	0,20	1991	4,80	5,28	-0,48	2014	5,73	5,90	-0,17
1969	4,69	4,53	0,16	1992	4,83	5,20	-0,36	2015	6,06	6,12	-0,06
1970	5,07	4,98	0,10	1993	4,55	4,69	-0,14	2016	6,35	6,41	0,06
1971	4,33	4,17	0,16	1994	4,75	4,68	0,07	2017	6,07	5,80	0,27
1972	5,28	5,16	0,12	1995	4,61	4,98	-0,37				
1973	4,99	5,18	-0,19	1996	4,33	4,63	-0,30				

эффективности её применения. Тем не менее следует продолжить поиск временных диапазонов, в пределах которых уровень статистической сопряжённости температуры воды на разрезе и SST может быть выше, например, для периода современного потепления водных масс Баренцева моря атлантического генезиса.

В межгодовой изменчивости температуры воды слоя 0–50 м на разрезе «Кольский меридиан» и SST на полигоне юго-западной части Баренцева моря в 1951–2017 гг. присутствуют нелинейные тренды, вклад которых в изменчивость исходных данных составляет 59 и 65 %, соответственно (см. рис. 5). Они были аппроксимированы полиномами 5-й степени и могут представлять собой сумму линейного тренда и квазивекового цикла. Поскольку выборка температуры воды слоя 0–50 м на разрезе имеется только с 1951 года, длительность долгопериодных компонент в структуре колебаний анализируемых показателей теплосодержания водных масс Баренцева моря позволяет сделать лишь предварительные оценки о наличии в её динамике этих климатических составляющих.

Данные же температуры воды слоя 0–200 м на 3–7 станциях разреза «Кольский меридиан» и SST на выбранном полигоне юго-западной части Баренцева моря существуют за 1900–2017 гг., продолжительность которых позволяет уточнить параметры долгопериодных составляющих в её колебаниях. На рис. 6 показана межгодовая изменчивость исходных значений температуры, полученной разными способами, а также сумма линейных трендов и квазивековых циклов длительностью 75 лет, присутствующие в их динамике. Эти кривые были аппроксимированы многочленами 5-й степени, значимый коэффициент кор-

реляции между их выборками составляет $r = 0,95$. Следовательно, предположение о наличии в колебаниях годовой температуры воды слоя 0–50 м на разрезе «Кольский меридиан» и SST на полигоне линейных трендов и квазивековых циклов в их низкочастотной области спектров по данным за 1951–2017 гг. подтверждается результатами спектрального анализа этих показателей теплового состояния водных масс длительностью почти в 2 раза больше.

Для сравнительной оценки структуры межгодовых колебаний температуры воды слоя 0–50 м Мурманского течения на разрезе «Кольский меридиан» (станции 3–7) и SST на полигоне юго-западной части Баренцева моря в 1951–2017 гг. в диапазоне средних и высоких частот из исходных данных были исключены расчётные значения линейного тренда и квазивекового цикла. Спектральный анализ методом быстрого преобразования Фурье показал, что в целом составы основных энергонесущих квазипериодичностей отличаются лишь тем, что в межгодовых вариациях SST слабо выражен 10-летний цикл (рис. 7). Наличие близкой частотной структуры колебаний сравниваемых выборок температуры воды подтверждается достаточно высоким значением коэффициента корреляции её исходных данных ($r = 0,92$).

По нашему мнению, результаты проведённых исследований позволяют использовать данные температуры поверхности SST на полигоне юго-западной части Баренцева моря для анализа теплосодержания атлантических вод верхнего 50-метрового слоя. Однако в Полярном филиале ВНИРО для оценки теплового состояния вод моря и его долгосрочного прогнозирования чаще используется средняя температура воды в слое

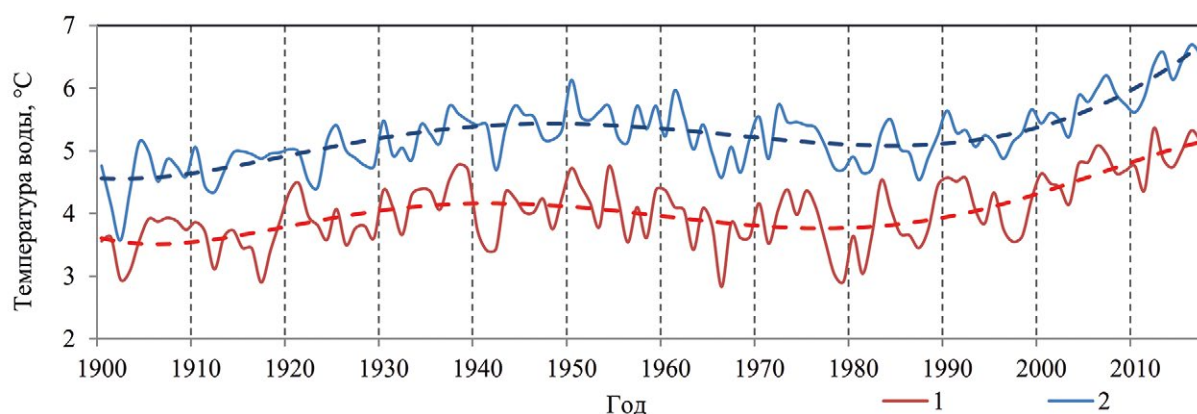


Рис. 6. Межгодовая динамика годовой температуры воды слоя 0–200 м на 3–7 станциях разреза «Кольский меридиан» (1) и средняя SST на полигоне юго-западной части Баренцева моря (2) в 1900–2017 гг. Пунктирная кривая – сумма значений тренда и квазивекового цикла

Fig. 6. Interannual dynamics of the annual water temperature in the 0–200 m layer at 3–7 stations of the Kola Section (1) and the average SST at the polygon in the southwestern part of the Barents Sea (2) for 1900–2017. The dotted line is the sum of the trend values and the quasi-secular cycle

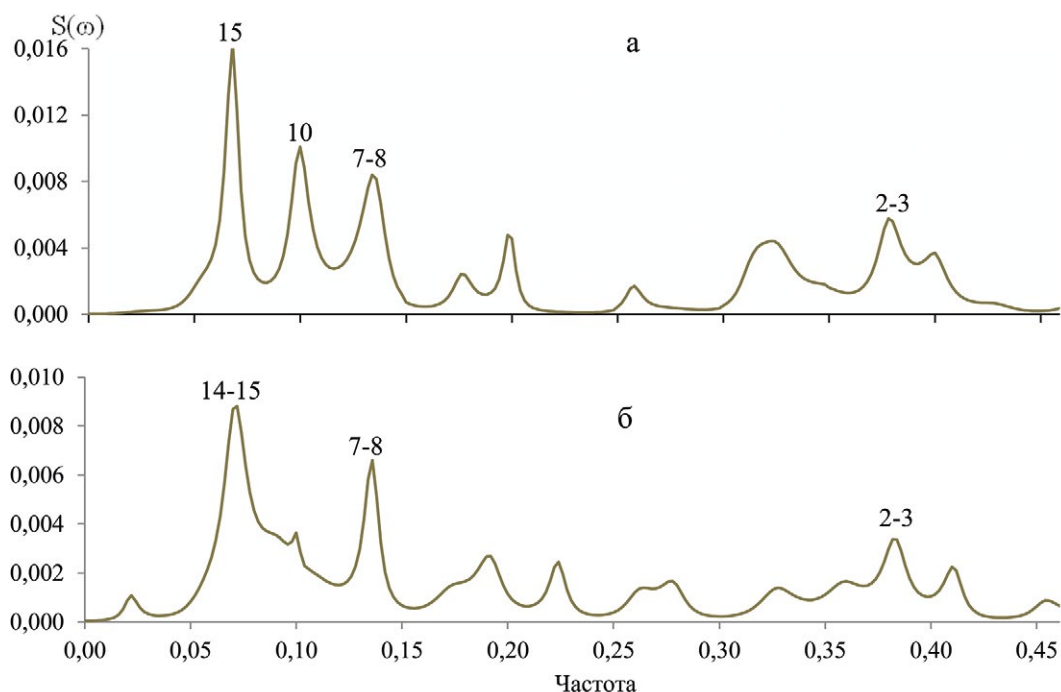


Рис. 7. Спектр температуры воды слоя 0–50 м на станциях 3–7 разреза «Кольский меридиан» (а) и SST на полигоне юго-западной части Баренцева моря (б) с исключёнными значениями тренда и квазивекового цикла из исходных данных за 1951–2017 гг.

Fig. 7. Water temperature spectrum in the 0–50 m layer at 3–7 stations of the Kola Section (a) and SST at the polygon in the southwestern part of the Barents Sea (b) based on data for 1951–2017

0–200 м на станциях 3–7 разреза «Кольский меридиан». Но поскольку колебания годовой температуры воды в слоях 0–200 м и 0–50 м на этом разрезе имеют очень высокий уровень сопряжённости за период с 1951 по 2017 г. ($r = 0,96$), при отсутствии на нём инструментальных наблюдений за этим параметром мож-

но по данным SST оценивать теплозапас водных масс слоя 0–200 м, используя следующую схему расчётов:

– по данным годовой температуры поверхности Баренцева моря (SST) на полигоне с координатами 71–73° с.ш. и 27–33° в.д. с помощью уравнения линейной регрессии рассчитывается средняя темпера-

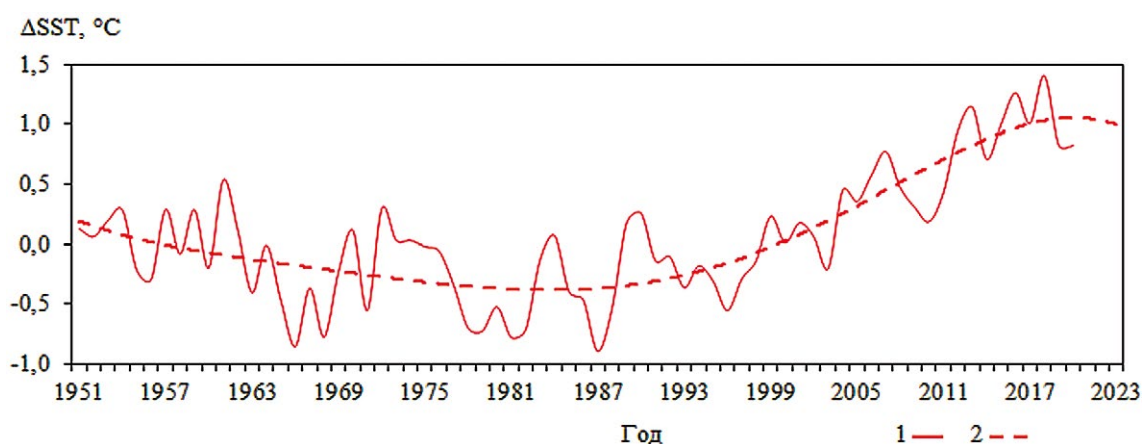


Рис. 8. Изменчивость аномалий годовой SST на полигоне 71–73° с.ш. и 27–33° в.д. юго-западной части Баренцева моря в 1951–2020 гг. (1) и ее климатическая компонента в 1951–2023 гг. (2)

Fig. 8. The variability anomalies of the annual SST at the polygon with coordinates 71–73° N and 27–33° E in the southwestern part of the Barents Sea for 1951–2020 (1) and its climatic component in 1951–2023 (2)

тура слоя 0–50 м для участка разреза «Кольский меридиан» между 70°30' – 72°30' с.ш.;

– по уравнению линейной регрессии между годовой температурой слоя 0–50 м вычисляется температура воды слоя 0–200 м на этом же участке разреза.

Данные SST полигона юго-западной части Баренцева моря можно также использовать для разработки методики долгосрочного прогноза на основе наличие полициклической природы её изменчивости. Такой подход был предложен в работах [Аверкиев и др., 1997; Бойцов, 2006].

С помощью метода экстраполяции долгопериодных составляющих температуры SST, сумма которых представляет собой нелинейный тренд, возможно проводить и оценку динамики климата Баренцева моря на несколько лет вперёд. Так по данным за 1951–2020 гг. нами были сделаны такие расчёты для 2021–2023 гг., согласно которым в этот период тепловой фон поверхности моря может превысить норму на 0,8–1,0 °C (рис. 8).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Межгодовые колебания средней годовой температуры поверхности (SST) Баренцева моря на акватории 71–73° с.ш. и 31–33° в.д. имеет высокий уровень корреляционной связи с температурой воды атлантического генезиса слоёв 0–50 м ($r = 0,92$) и 0–200 м ($r = 0,85$) на участке разреза «Кольский меридиан» (3–7 океанографические станции) по данным 1951–2017 гг. Это определяется практически полным совпадением спектрального состава колебаний температуры, полученной разными методами, во всех диапазонах частот.

Аномалии температуры SST и слоя 0–50 м на разрезе «Кольский меридиан» Баренцева моря, рассчитанные от её многолетних значений за 1951–2017 гг., в 90% случаев совпадают по знаку, а в 81% – их разность не превышает 0,3 °C. В 1996–2017 гг., т.е. в большую часть фазы современного потепления атлантических вод, аномалии температуры были только положительными, а их расхождения оказались меньше 0,2 °C.

Полученные результаты позволили нам рекомендовать к использованию SST на полигоне юго-западной части Баренцева моря для восстановления пропусков среднегодовой температуры в слое 0–50 м на разрезе «Кольский меридиан» в случае отсутствия наблюдений на нём. Наличие же очень высокого уровня сопряжённости между колебаниями температуры слоёв 0–50 и 0–200 м на этом разрезе за период с 1951 по 2017 г. ($r = 0,96$) позволяет рассчитать уровень теплового состояния водных масс верхней 200-метровой толщи.

С помощью средней годовой температуры SST на полигоне Баренцева моря можно оценивать динамику климатической составляющей теплосодержания вод атлантического генезиса с заблаговременностью несколько лет и использовать её многолетние данные для разработки методики долгосрочного прогноза теплового состояния вод его южной части.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов.

Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

Финансирование

Работа выполнена по личной инициативе, без дополнительного финансирования.

ЛИТЕРАТУРА

- Аверкиев А.С., Булаева В.М., Густоев Д.В., Карпова И.П. 1997. Методические рекомендации по использованию метода сверхдолгосрочного прогнозирования гидрометеорологических элементов (МСПГЭ) и программного комплекса «Призма». Мурманск: Изд-во ПИНРО. 40 с.
- Алексеев Г.В., Булатов Л.В., Захаров В.Ф., Иванов В.В. 1997. Поступление необычно тёплых атлантических вод в Арктический бассейн // Доклады РАН. Т. 356. С. 401–403.
- Алексеев Г.В., Радионов В.Ф., Александров Е.И., Иванов Н.Е., Харланенкова Н.Е. 2015. Изменения климата Арктики при глобальном потеплении // Проблемы Арктики и Антарктики. № 1 (103). С. 32–42.
- Алексеев Г.В., Пнюшков А.В., Смирнов А.В., Вязилова А.Е., Глок Н.И. 2019. Влияние притока из Атлантики на содержание пресной воды в верхнем слое Арктического бассейна // Проблемы Арктики и Антарктики. № 65 (4). С. 363–388.
- Бойцов В.Д. 2006. Изменчивость температуры воды Баренцева моря и её прогнозирование. Мурманск: Изд-во ПИНРО. 292 с.
- Бойцов В.Д. 2009. Изменчивость температуры воды Баренцева моря и её воздействие на биотические компоненты экосистемы. Автореф. дисс. ... док. географ. наук. СПб: РГГМУ. 49 с.
- Бойцов В.Д. 2012. Межгодовые колебания гидрометеорологических характеристик в Баренцевом море, Северной Атлантике и Северном Ледовитом океане и их сопряжённость // Вопросы промысловой океанологии. Вып. 9, № 2. С. 61–95.
- Бойцов В.Д. 2021. Долгопериодная изменчивость температуры поверхности Северного и Балтийского морей в 1900–2020 гг. Гидрометеорология и экология // Учёные записки РГГМУ. № 63. С. 236–254. doi: 10.33933/2713–3001–2021–63–236–254
- Бойцов В.Д., Карсаков А.Л., Аверкиев А.С., Густоев Д.В., Карпова И.П. 2010. Исследование изменчивости гидрофи-

- зических характеристик по наблюдениям на разрезе «Кольский меридиан» // Учёные записки РГГМУ. № 15. С. 135–149.
- Карсаков А.Л., Трофимов А.Г., Ившин В.А., Анциферов М.Ю., Густоев Д.В., Аверкиев А.С. 2018. Восстановление данных по температуре воды на разрезе «Кольский меридиан» в 2016–2017 гг. // Труды ВНИРО. Т. 173. С. 193–206.
- Латонин М.М., Башмачников И.Л., Бобылёв Л.П. 2020. Явление арктического усиления и его движущие механизмы // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. Т. 13, № 3. С. 3–19. doi: 10.7868/S2073667320030016.
- Малинин В.Н., Шмакова В.Ю. 2018. Изменчивость энергоактивных зон океана в Северной Атлантике // Фундаментальная и прикладная климатология. Т. 4. С. 55–70. doi.org/10.21513/2410-8758-2018-4-55-70.
- Мохов И.И. 2015. Современные изменения климата Арктики // Вестник РАН. Т. 85. № 5–6. С. 476–486.
- 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.
- Рожкова А.Ю., Дмитриенко И.А., Баух Д., Тимохов Л.А. 2008. Изменение свойств баренцевоморской ветви атлантических вод в котловине Нансена под влиянием атмосферной циркуляции над Баренцевым морем // Доклады РАН. Т. 418. № 3. С. 401–406.
- Серых И.В., Костяной А.Г. 2018. Климатические изменения температуры юго-восточной части Балтийского моря // Труды II Всерос. конф. «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития». СПб.: Химиздат. С. 584–587.
- Тимохов Л.А., Фролов И.Е., Кассенс Х., Карпий В.Ю., Лебедев Н.В., Малиновский С.Ю., Поляков И.В., Хелеманн Е. 2016. Изменения термохалинных характеристик трансполярной системы Северного Ледовитого океана // Проблемы Арктики и Антарктики. 2 (108). С. 34–49.
- Трешников А.Ф., Баранов Г.И. 1972. Структура циркуляции вод Арктического бассейна. Л.: Гидрометеиздат. 158 с.
- Хаймина О.В., Бойцов В.Д., Карпова И.П. 2012. Вековые колебания климата морей северо-запада России // Учёные записки РГГМУ. № 24. С. 62–74.
- Bashmachnikov I.L., Yurova A.Y., Bobylev L.P., Vesman A.V. 2018. Seasonal and Interannual Variations of Heat Fluxes in the Barents Sea Region // Izvestiya Atmospheric and Ocean Physics. 54 (2). 213–222. doi.org/10.1134/S0001433818020032.
- Belkin I.M. 2009. Rapid warming of large marine ecosystems // Progress in Oceanography. 81 (1). 207–213.
- Boitsov V.D., Karsakov A.L., Trofimov A.G. 2012. Atlantic water temperature and climate in the Barents Sea, 2000–2009 // ICES J. Mar. Sci. 69 (5). 833–840. doi:10.1093/icesjms/fss075.
- Gustafsson B.G., Schenk F., Blenckner T., Eilola K., Meier H.E.M., Müller-Karulis B., Neumann T., Ruoho-Airola T., Savchuk, O. P., Zorita, E. 2012. Reconstructing the development of Baltic Sea eutrophication 1850–2006 // Ambio. 41 (6). 534–548.
- Hartmann D.L., Klein Tank A.M.G., Rusticucci M., Alexander L.V., Brönnimann S., Charabi Y., Dentener F.J., Dlugokencky E.J., Easterling D.R., Kaplan A., Soden B.J., Thorne P.W., Wild M., Zhai P.M. 2013. Observations: Atmosphere and Surface // Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Stocker T.F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P.M. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 159–254.
- Huang B., Angel W., Boyer T., Cheng L., Chepurin G., Freeman E., Liu C., Zhang H.-M. 2018. Evaluating SST analyses with independent ocean profile observations // J. Climate. 31 (13). Pp. 5015–5030. doi:10.1175/JCLI-D-17-0824.1.
- Lehmann A., Getzlaff K., Harlaß J. 2011. Detailed assessment of climate variability of the Baltic Sea area for the period 1958–2009 // Climate Research. 46. 185–196.
- Loeng H., Ozhigin V., Aadlandsvik B. 1997. Water fluxes through the Barents Sea // ICES J. Mar. Sci. Vol. 54. P. 310–317.
- Ozhigin V.K., Ingvaldsen R.B., Loeng H., Boitsov V.D., Karsakov A.L. 2011. Introduction to the Barents Sea // The Barents Sea: ecosystem, resources, management. Half a century of Russian-Norwegian cooperation. Trondheim: Tapir Academic Press. P. 39–76.
- Semenov V.A. 2008. Influence of oceanic inflow to the Barents Sea on climate variability in the Arctic region // Dokl. Earth Sc. 418 (1). 91–94. doi.org/10.1134/S1028334X08010200.
- Smedsrud L.H., Lars I., Ingvaldsen R.B., Eldevik T., Haugan P.M., Li Camille, Lien V.S., Olsen A., Omar A.M., Otterå O.H., Risebrobakken B., Sandø A.B., Semenov V.A., Sorokina S.A. 2013. The role of the Barents Sea in the Arctic climate system // Reviews of Geophysics. 51(7):1–35. doi:10.1002/rog.20017.
- Sutton R.T., Hodson D.L.R. 2005. Atlantic Ocean forcing of North American and European summer climate // Science. Vol.309, № 5731. 115–118.
- Smith T.M., Reynolds R.W. 2003. Extended reconstruction of global sea surface temperatures based on COADS data (1854–1997) // J. of Climate, 16, 1495–1510. doi: 10.1175/1520-0442-16.10.1495.
- The Barents Sea: Ecosystem, Resources, Management. Half a century Russian-Norwegian cooperation 2011. / Ed.T. Jakobsen, V.K. Ozhigin. Trondheim: Tapir Akademik Press, 825 pp.
- Users Guide by SeaSolve Software Inc. AutoSignal, 2003.
- Yurova A., Bobylev L.P., Zhu Y., Davy R., Korzhikov A. Ya. 2018. Atmospheric heat advection in The Kara Sea region under main synoptic processes // Int. J. Climatol. 39 (1). Pp. 361–374. doi: 10.1002/joc.5811.

REFERENCES

- Averkiev A.S., Bulaeva V.M., Gustoev D.V., Karpova I.P. 1997. Metodicheskie rekomendatsii po ispol'zovaniyu metoda sverkhdolgosrochnogo prognozirovaniya gidrometeorologicheskikh ehlementov (MSPGEH) i programmogo kompleksa «Prizma» [Methodical recommendations on using the method of long-term forecasting of hydrometeorological elements (MSPGE) and the software «Prisma»]. Murmansk: Izd-vo PINRO. 40 s.
- Alekseev G.V., Bulatov L.V., Zakharov V.F., Ivanov V.V. 1997. Postuplenie neobychno teplykh atlanticheskikh vod v Arkticheskij bassejn [Inflow of unusually warm Atlantic

- waters into the Arctic Basins] // *Doklady RAN*. T. 356. S. 401–403.
- Alekseev G.V., Radionov V.F., Aleksandrov E.I., Ivanov N.E., Kharlanenkova N.E. 2015. Izmeneniya klimata Arktiki pri global'nom poteplenii [Arctic climate change under global warming] // *Problemy Arktiki i Antarktiki*. № 1 (103). S. 32–42.
- Alekseev G.V., Pnyushkov A.V., Smirnov A.V., Vyazilova A.E., Glok N.I. 2019. Vliyaniye pritoka iz Atlantiki na sodержanie presnoj vody v verkhnem sloe Arkticheskogo bassejna [Influence of Atlantic inflow on the freshwater content in the upper layer of the Arctic basin] // *Problemy Arktiki i Antarktiki*. № 65 (4). S. 363–388.
- Bojtsov V.D. 2006. Izmenchivost' temperatury vody Barentseva morya i ee prognozirovaniye [Variability of temperature in the Barents Sea and its forecasting]. Murmansk: Izd-vo PINRO. 292 s.
- Bojtsov V.D. 2009. Izmenchivost' temperatury vody Barentseva morya i ee vozdeystvie na bioticheskie komponenty ehkositemy [Water temperature variability in the Barents Sea and its impact on biotic components of the ecosystem]. Avtoref. diss. ... dok. geograf. nauk. SPb: RGGMU. 49 s.
- Bojtsov V.D. 2012. Mezhhodovyye kolebaniya gidrometeorologicheskikh kharakteristik v Baren-tsevom more, Severnoj Atlantike i Severnom Ledovitom okeane i ikh sopryazhennost' [Interannual variations in hydrometeorological characteristics in the Barents Sea, North Atlantic and Arctic Ocean and their conjugation] // *Voprosy promyslovoj okeanologii*. Vyp. 9, № 2. S. 61–95.
- Bojtsov V.D. 2021. Dolgoperiodnaya izmenchivost' temperatury poverkhnosti Severnogo i Baltijskogo morej v 1900–2020 gg. Gidrometeorologiya i ehkologiya [Long-term variability of the sea surface temperature (SST) in the North and Baltic Seas for the 1900–2020] // *Uchenye zapiski RGGMU*. № 63 S. 236–254. doi: 10.33933/2713–3001–2021–63–236–254
- Bojtsov V.D., Karsakov A.L., Averkiev A.S., Gustoev D.V., Karpova I.P. 2010. Issledovanie izmenchivosti gidrofizicheskikh kharakteristik po nablyudeniyam na razreze «Kol'skij meridian» [Research of variability hydrophysical characteristics on the «the Kola meridian» cross-section observations] // *Uchenye zapiski RGGMU*. № 15. S. 135–149.
- Karsakov A.L., Trofimov A.G., Ivshin V.A., Antsiferov M. Yu., Gustoev D.V., Averkiev A.S. 2018. Vosstanovlenie dannykh po temperature vody na razreze «Kol'skij meridian» v 2016–2017 gg. [Restoration of data on water temperature in the Kola Section for 2016–2017] // *Trudy VNIRO*. T. 173. S. 193–206.
- Latonin M.M., Bashmachnikov I.L., Bobylev L.P. 2020. Yavlenie arkticheskogo usileniya i ego dvizhushchie mekhanizmy [The Arctic Amplification Phenomenon and Its Driving Mechanisms] // *Fundamental'naya i prikladnaya gidrofizika*. T. 13, № 3. S. 3–19. doi: 10.7868/S2073667320030016.
- Malinin V.N., Shmakova V. Yu. 2018. Izmenchivost' ehnergoaktivnykh zon okeana v Severnoj Atlantike [Variability of the energy-active ocean zones in North Atlantic] // *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya*. T. 4. S. 55–70. doi.org/10.21513/2410–8758–2018–4–55–70.
- Mokhov I.I. 2015. Sovremennyye izmeneniya klimata Arktiki [Modern climate changes in the Arctic] // *Vestnik RAN*. T. 85. № 5–6. S. 476–486.
- Ozhigin V.K., Ivshin V.A., Trofimov A.G., Karsakov A.L., Antsiferov M. Yu. 2016. Vody Barentseva morya: struktura, tsirkulyatsiya, izmenchivost' [The Barents Sea Water: structure, circulation, variability]. Murmansk: PINRO. 260 s.
- Rozhkova A. Yu., Dmitrienko I.A., Baukh D., Timokhov L.A. 2008. Izmenenie svojstv barentse-vomorskoj vetvi atlanticheskikh vod v kotlovine Nansena pod vliyaniem atmosfernoj tsirkulyatsii nad Barentsevym morem [Variations in characteristics of the Barents branch of the Atlantic water in the Nansen basin under the influence of atmospheric circulation over the Barents sea] // *Doklady RAN*. T. 418. № 3. S. 401–406.
- Serykh I.V., Kostyanov A.G. 2018. Klimaticheskie izmeneniya temperatury yugo-vostochnoj chasti Baltijskogo morya [Climatic changes in the temperature of the south-east parts of the Baltic Sea] // *Trudy II Vseros. konf. «Gidrometeorologiya i ehkologiya: do-stizheniya i perspektivy razvitiya»*. SPb.: Khimizdat. S. 584–587.
- Timokhov L.A., Frolov I.E., Kassens KH., Karpov V. Yu., Lebedev N.V., Malinovskij S. Yu., Polyakov I.V., Khelemann E. 2016. Izmeneniya termokhalinnykh kharakteristik transpolyarnoj sistemy Severnogo Ledovitogo okeana [Changes of termohaline characteristics of transpolar system of the Arctic ocean] // *Problemy Arktiki i Antarktiki*. 2 (108). S. 34–49.
- Treshnikov A.F., Baranov G.I. 1972. Struktura tsirkulyatsii vod Arkticheskogo bassejna [Structure of the Arctic Basin water circulation]. L.: Gidrometeoizdat. 158 s.
- Khajmina O.V., Bojtsov V.D., Karpova I.P. 2012. Vekovyye kolebaniya klimata morej severo-zapada Rossii [Centuries of climate fluctuations in the seas of northwest Russia] // *Uchenye zapiski RGGMU*. № 24. S. 62–74.
- Bashmachnikov I.L., Yurova A.Y., Bobylev L.P., Vesman A.V. 2018. Seasonal and Interannual Variations of Heat Fluxes in the Barents Sea Region // *Izvestiya Atmospheric and Ocean Physics*. 54 (2). 213–222. doi.org/10.1134/S0001433818020032.
- Belkin I.M. 2009. Rapid warming of large marine ecosystems // *Progress in Oceanography*. 81 (1). 207–213.
- Bojtsov V.D., Karsakov A.L., Trofimov A.G. 2012. Atlantic water temperature and climate in the Barents Sea, 2000–2009 // *ICES J. Mar. Sci.* 69 (5). 833–840. doi:10.1093/icesjms/fss075.
- Gustafsson B.G., Schenk F., Blenckner T., Eilola K., Meier H.E.M., Müller-Karulis B., Neumann T., Ruoho-Airola T., Savchuk, O. P., Zorita, E. 2012. Reconstructing the development of Baltic Sea eutrophication 1850–2006 // *Ambio*. 41 (6). 534–548.
- Hartmann D.L., Klein Tank A.M.G., Rusticucci M., Alexander L.V., Brönnimann S., Charabi Y., Dentener F.J., Dlugokencky E.J., Easterling D.R., Kaplan A., Soden B.J., Thorne P.W., Wild M., Zhai P.M. 2013. Observations: Atmosphere and Surface // *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*

- / Stocker T.F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P.M. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 159–254.
- Huang B., Angel W., Boyer T., Cheng L., Chepurin G., Freeman E., Liu C., Zhang H.-M. 2018. Evaluating SST analyses with independent ocean profile observations // J. Climate. 31 (13). Pp. 5015–5030. doi:10.1175/JCLI-D-17-0824.1.
- Lehmann A., Getzlaff K., Harlaß J. 2011. Detailed assessment of climate variability of the Baltic Sea area for the period 1958–2009 // Climate Research. 46. 185–196.
- Loeng H., Ozhigin V., Aadlandsvik B. 1997. Water fluxes through the Barents Sea // ICES J. Mar. Sci. Vol. 54. P. 310–317.
- Ozhigin, V.K., Trofimov, A.G., Ivshin, V.A. 2000. The Eastern Basin Water and currents in the Barents Sea // ICES Document CM. 2000/L:14. 19 p.
- Ozhigin V.K., Ingvaldsen R.B., Loeng H., Boitsov V.D., Karsakov A.L. 2011. Introduction to the Barents Sea // The Barents Sea: ecosystem, resources, management. Half a century of Russian-Norwegian cooperation. Trondheim: Tapir Academic Press. P. 39–76.
- Semenov V.A. 2008. Influence of oceanic inflow to the Barents Sea on climate variability in the Arctic region // Dokl. Earth Sc. 418 (1). 91–94. doi.org/10.1134/S1028334X08010200.
- Smedsrud L.H., Lars I., Ingvaldsen R.B., Eldevik T., Haugan P.M., Li Camille, Lien V.S., Olsen A., Omar A.M., Otterå O.H., Risebrobakken B., Sandø A.B., Semenov V.A., Sorokina S.A. 2013. The role of the Barents Sea in the Arctic climate system Reviews of Geophysics. 51(7):1–35. doi:10.1002/rog. 20017.
- Sutton R.T., Hodson D.L.R. 2005. Atlantic Ocean forcing of North American and European summer climate // Science. Vol.309, № 5731. 115–118.
- Smith T.M., Reynolds R.W. 2003. Extended reconstruction of global sea surface temperatures based on COADS data (1854–1997) // J. of Climate, 16, 1495–1510. doi: 10/1175/1520-0442-16.10.1495.
- The Barents Sea: Ecosystem, Resources, Management. Half a century Russian-Norwegian cooperation* 2011. / Ed.T. Jakobsen, V.K. Ozhigin. Trondheim: Tapir Akademik Press, 825 pp.
- Users Guide* by SeaSolve Software Inc. AutoSignal, 2003.
- Yurova A., Bobylev L.P., Zhu Y., Davy R., Korzhikov A. Ya. 2018. Atmospheric heat advection in The Kara Sea region under main synoptic processes // Int. J. Climatol. 39 (1). Pp. 361–374. doi: 10.1002/joc.5811.

Поступила в редакцию 05.10.2021 г.

Принята после рецензии 05.12.2021 г.

Среда обитания водных биологических ресурсов

Многолетние исследования фитопланктона Печаковской салмы Онежского залива Белого моря (по результатам наблюдений 2001–2016 гг.)

И.Ю. Македонская, Н.Г. Отченаш, Е.В. Медведева

Северный отдел Полярного филиала ФГБНУ «ВНИРО» («СевПИНРО»), ул. Урицкого 17, г. Архангельск, 163002
E-mail: makedonskaja@pinro.ru

Цель работы: проследить качественные и количественные, сезонные и годовые изменения фитопланктона пролива Печаковская Салма Онежского залива Белого моря (Соловецкие острова) за период 2001–2016 гг.

Используемые методы: по данным 16-летних исследований представлен сравнительный флористический анализ планктонного сообщества. На основе которого были рассчитаны биологические индексы и проведён статистический анализ.

Новизна: впервые проведены многолетние разноплановые исследования фитопланктона в данном районе.

Результат: в представленной работе обобщены результаты многолетних сезонных исследований фитопланктона пролива Печаковская Салма за период 2001–2016 гг. Температура поверхностного слоя в данном районе существенно варьировала по сезонам и годам. Солёность была стабильно высокой на протяжении всего периода исследований. В проливе Печаковская Салма было обнаружено 363 таксона микроводорослей, принадлежащих к 8 отделам. На основе численности всех обнаруженных видов микроводорослей были рассчитаны индексы: для оценки структуры и выравниваемости сообщества – информационный индекс Шеннона, для определения видового богатства – индекс Менхиника, для оценки флористического сходства фитоценозов – индекс биотической дисперсии Коха (IBD). Среднегодовые значения численности, биомассы и концентрация хлорофилла а составили 17,34 млн кл/м³, 240,72 мг/м³ и 0,60 мг/м³, соответственно. Среднегодовой показатель первичной продукции за весь период исследований составил 22,13 мг С/м³·сут. при минимуме 8,25 мг С/м³·сут. в 2003 г. и максимуме 48,93 мг С/м³·сут. в 2012 г. Наивысшую продукционную активность фитопланктонное сообщество Печаковской Салмы проявляло в период гидрологического лета и осени, хотя для Белого моря в целом продукционные максимумы фитопланктона характерны для гидрологической весны.

Практическая значимость: в исследованном районе антропогенного влияния на показатели жизнедеятельности фитопланктона в 2001–2016 гг. не выявлено, что даёт возможность использовать полученные характеристики планктонного альгоценоза как фоновые для сравнения с другими участками моря в районе Соловецкого архипелага.

Ключевые слова: Белое море, Печаковская Салма, фитопланктон, численность, биомасса, продукция.

Long-term studies in phytoplankton from the Pechakovskaya salma strait in the Onega bay of the White Sea (on the results from observations in 2001–2016)

Irina Yu. Makedonskaya, Natalya G. Otchenash, Elizaveta V. Medvedeva

Northern Department of the Polar Branch of VNIRO («SevPINRO») 17, Uritskogo st., Arkhangelsk, 163002, Russia

Purpose of the study: to trace the qualitative and quantitative, seasonal and annual changes in phytoplankton in the strait Pechakovskaya Salma of the Onega Bay of the White Sea (the Solovetsky Islands) for the period 2001–2016.

Methods used: according to 16 years of research, a comparative floristic analysis of the plankton community is presented. Based on this analysis, biological indices were calculated and statistical analysis was carried out.

Up-to-dateness: long-term multifaceted studies of phytoplankton have never been conducted in this area before.

The result: the presented paper summarizes the results of long-term seasonal studies of phytoplankton in the Proliv Pechakovskaya Salma for the period 2001–2016. The temperature of the surface layer in this area varied significantly by seasons and years. Salinity was consistently high throughout the study period. 363 microalgae taxa belonging to eight divisions were found in the Proliv Pechakovskaya Salma. Based on the abundance of all detected microalgae species, indices were calculated: to assess the structure and smoothing of the community – the Shannon index, to determine the species richness – the Menhinick index, to assess the general similarity degree of phytocenoses – the Koch biotic dispersion index (IBD). The long-term mean of the abundance, biomass and concentration of chlorophyll-a amounted to 17.34 million cells/m³, 240.72 mg/m³ and 0.60 mg/m³, respectively. The average annual indicator of primary production for the entire research period was 22.13 mg C/m³·day with a minimum of 8.25 mg C/m³·day in 2003 and a maximum of 48.93 mg C/m³·day in 2012. The phytoplankton community of the Pechakovskaya Salma showed the highest production activity during the hydrological summer and autumn, although for the White Sea, the production maxima of phytoplankton are typical for hydrological spring.

Practical significance: in the investigated area, anthropogenic influence on phytoplankton vital activity indicators was not revealed in 2001–2016, which makes it possible to use the obtained characteristics of planktonic algal communities as background for comparison with other areas of the sea in the area of the Solovetsky Islands.

Keywords: White Sea, Pechakovskaya Salma, phytoplankton, abundance, biomass, production.

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия экосистема Белого моря испытывает как значительную антропогенную нагрузку, так и влияние глобального изменения климата.

Хозяйственная деятельность человека повлекла за собой изменения гидрохимического режима моря, структурных и продукционных характеристик фитопланктона [Ильяш и др., 2003].

Исследования закономерностей и изменений в сообществах гидробионтов продолжают оставаться актуальными, поскольку сезонные смены в развитии фитопланктона Печаковской салмы Онежского залива изучены недостаточно. В последние годы в Белом море наблюдается увеличение амплитуд межгодовой и сезонной изменчивости метеорологических параметров, что способствует возникновению крупных природных аномалий, которые могут внести ряд изменений в экосистему моря [Чугайнова, 2010]. Поскольку скорость многих физиологических процессов в морских организмах определяется температурой, первым следствием изменений условий среды становится смещение сроков сезонных явлений, усиление стратификации, ослабление конвекции, уменьшение толщины верхнего перемешанного слоя, ослабление ветров и уменьшение ледовитости, что способствует снижению объёмов первичной продукции океана производимой фито- и зоопланктоном и необратимо сказывается на популяции рыб и морских беспозвоночных.

Цель наших исследований – проследить качественные и количественные, сезонные и годовые изменения фитопланктона данного района. Сведения о состоянии сообществ планктонных водорослей могут быть использованы в системе экологического контроля. Обобщающая сводка по фитопланктону может быть также полезна для природоохранных мероприятий и рационального использования биологических ресурсов. Возрастание интереса к изучению арктических морей обусловлено также потенциальным потеплением климата, которое в первую очередь скажется на интенсивности и направленности потоков веществ и энергии в водных экосистемах высоких широт.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В 2001–2016 гг. проводились исследования фитопланктонного сообщества в поверхностном слое прибрежной зоны в проливе Печаковская Салма (Юго-западная часть Соловецких островов) Онежского залива Белого моря. Пробы фитопланктона отбирались один раз в сезон в 2-х повторностях в районе расположения стационарной базы Полярного филиала ФГБНУ «ВНИРО» в пределах координат: от 64°35'28" – 64°00'84" с.ш. и до 35°25'92" – 35°40'44" в.д. За это

время было отобрано 137 проб зимнего (март-апрель, пробы подлёдной воды), весеннего (май-июнь), летнего (июль-август) и осеннего (октябрь-ноябрь) фитопланктона поверхностного горизонта и обработано по общепринятым методикам [Руководство..., 1980; Современные методы..., 1983]. Мониторинг температуры и солёности проводился одновременно с отбором проб фитопланктона. Пробы на пигментный состав фитопланктона также были отобраны с поверхностного горизонта моря и определены на берегу в лабораторных условиях стандартными методами¹ [Руководство..., 2003]. По концентрации хлорофилла а косвенным методом был проведён расчёт первичной продукции фитопланктона для поверхностного слоя моря [Шемшур и др., 1990]:

$$\lg P_0 = 1,56 + 0,92 \lg C_0,$$

где P_0 – первичная продукция, мг $C \cdot m^{-3} \cdot \text{день}^{-1}$; C_0 – концентрация хлорофилла а, мкг/л.

Видовая принадлежность определялась с помощью определителей [Диатомовый анализ, 1949; Курсанов, 1953]. На основе численности всех обнаруженных в Онежском заливе видов микроводорослей были рассчитаны индексы: для оценки структуры и выравненности сообщества – информационный индекс Шеннона, для определения видового богатства – индекс Менхиника [Шитиков, Розенберг, 2003; Shannon, Weaver, 1949]. Для оценки флористического сходства фитопланктонов использовался индекс биотической дисперсии Коха (IBD) [Koch, 1957; Тиходеева, Лебедева, 2015]. Все этапы статистической обработки данных, расчёты индексов и построение графических таблиц выполнены с использованием программы Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Белое море – небольшой субарктический полужамкнутый водоём, включающий несколько гидрографических районов. Онежский залив – один из самых мелководных и холодноводных заливов Белого моря. Особенностью Соловецких островов является их расположение на границе между Бассейном и Онежским заливом. Пролив Печаковская Салма протекает между мысом Печак и островами Большой Заяцкий и Малый Заяцкий, приливное течение здесь имеет большие скорости и оказывает существенное влияние на особенности гидрологии пролива, а близость к Бассейну определяет достаточно высокую и стабильную солёность на протяжении всего года. Для вод северной

¹ ГОСТ 17.1.4.02–90. 1990 Межгосударственный стандарт. Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла а. М.: ИПК Издательство стандартов. 15 с.

части, по сравнению с остальной акваторией залива, характерны более высокие солёности (25–26) и более низкая температура. Мелководность прибрежной акватории и хорошая гидродинамика способствуют перемешиванию, поэтому разница в температуре у поверхности и на глубине 20 метров не превышает 1 °С. Припай у Соловецких островов устанавливается обычно в конце первой – начале второй декады декабря и держится до третьей декады апреля – первой декады мая [Солянкин и др., 1994]. Мониторинговые наблюдения за параметрами среды в проливе Печаконская Салма проводились в 2001–2016 гг. с марта по ноябрь одновременно с отборами проб фитопланктона (см. табл. 1).

Среднегодовые значения солёности изменялись в очень узком диапазоне, в отличие от среднегодовой температуры (см. рис. 1)

За все годы и сезоны исследований в Печаконской Салме было обнаружено 363 таксона микроводорослей из 8 отделов, из которых 293 определено до уровня вида. Наиболее широко были представлены классы Bacillariophyceae – 266 таксонов (75–80%), Cyanophyceae – 30 таксонов, Dinophyceae – 29 таксонов и Chlorophyceae – 22 таксона. Комплекс обнаруженных видов микроводорослей является довольно обычным для мелководных районов Онежского залива [Киселёв, 1957; Петров, 1967]. Ведущими по флористическому богатству являлись диатомеи семейств Naviculaceae, Nitzschsiaceae, Rhabdonemaceae, Cosconeisaceae, Thalassiosiraceae, которые состави-

Таблица 1. Среднегодовые значения температуры и солёности вод поверхностного горизонта пролива Печаконская Салма Онежского залива Белого моря в 2001–2016 гг.

Table 1. Long-term average temperature and salinity of waters of the Pechakovskaya Salma Strait in the Onega Bay of the White Sea in 2001–2016

Гидрологический сезон	Температура, °С	Солёность
Зима	$\frac{-1,30}{-0,80-1,70}$	$\frac{22,70}{15,20-26,60}$
Весна	$\frac{4,30}{0,50-9,20}$	$\frac{25,80}{15,50-27,40}$
Лето	$\frac{10,98}{9,20-16,80}$	$\frac{26,50}{23,80-28,40}$
Осень	$\frac{4,50}{2,00-7,20}$	$\frac{25,94}{23,00-27,44}$
Среднегодовые показатели	5,41	25,32

ли большую часть видового состава исследованной альгофлоры. В целом, по числу видовых и внутривидовых таксонов водорослей из разных отделов, а также по составу ведущих родов, семейств и порядков планктонный альгоценоз пролива Печаконская Салма можно охарактеризовать как диатомово-цианобактериальный с заметным участием динофитовых и зелёных водорослей. Следует отметить, что зелёные микроводоросли и цианобактерии встречались единично и не оказывали существенного влияния на формирование общей численности и биомассы фитоплан-

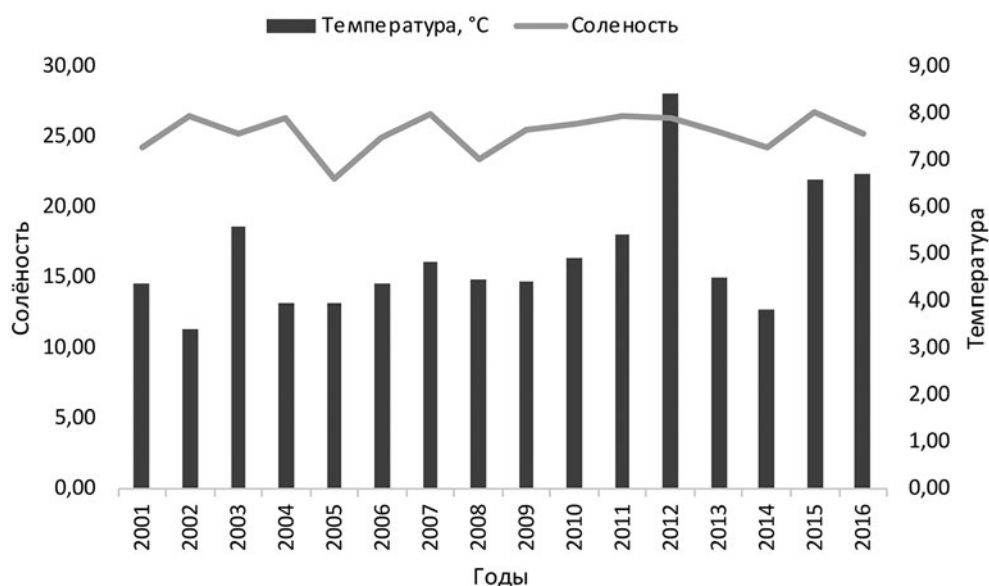


Рис. 1. Многолетняя динамика среднегодовых значений температуры (°С) и солёности поверхностного горизонта в проливе Печаконская Салма в 2001–2016 гг.

Fig. 1. Long-term dynamics of average annual temperature (°C) and salinity in the surface layer in the Pechakovskaya Salma Strait in 2001–2016

ктон. Наиболее низким было видовое разнообразие зимнего фитопланктона, а наиболее высоким — летнего. Осенью количество обнаруженных таксонов микроводорослей было несколько выше, чем весной (см. табл. 2).

Индекс биотической дисперсии Коха (IBD), позволяющий оценить флористическое сходство целого ряда описаний, составил 90%, что говорит о высокой степени схожести видового состава фитопланктона Печаковской Салмы по годам, несмотря на изменения факторов среды.

Температурный оптимум у разных видов не совпадает, чем и определяется смена видового состава по сезонам, так называемая сезонная сукцессия. Температура воды в исследуемый период изменялась в очень узком интервале: от минус 0,8 °C до минус 1,7 °C (при среднемноголетнем значении минус 1,29 °C). Судя по пробам, взятым сразу после окончания зимнего сезона (конец марта — начало апреля), фитопланктон в Печаковской Салме достаточно беден по видовому составу. Было обнаружено 138 видов микроводорослей из 8 отделов (см. табл. 2). В разные годы комплексы микроводорослей — доминантов по численности формировались в основном из представителей диатомовых из родов *Navicula* J.B.M. Bory de Saint-Vincent, 1822, *Nitzschia* A.H. Hassall, 1845, *Thalassiosira* P.T. Cleve, 1873 *emend.* Hasle, 1973, *Melosira* C.A. Agardh, 1824. Иногда к ним присоединялись представители Chlorophyceae (2003, 2006 гг.), Euglenophyceae (2003, 2007, 2009, 2013 и 2014 гг.) и Dinophyceae (*Gymnodinium arcticum* Wulff, 1919 в 2007, 2009 и 2010 гг.).

В весенний период (май) температура воды колебалась от 0,9 °C в 2005 г. до 7,4 °C в 2016 г. (при

среднемноголетнем значении 4,29 °C). Характерная особенность — различное количество определённых таксонов в разные годы: от 4 в 2003 г. до 46 в 2015 г, не связанная с температурным режимом. Всего в этот сезон было обнаружено 200 таксонов микроводорослей из 7 отделов (см. табл. 2). Доминировали представители диатомовых из родов *Thalassiosira*, *Navicula* и *Skeletonema* R.K. Greville, 1865. В 2005 и 2013 гг. к группе доминант присоединялся *Gymnodinium arcticum* из динофитовых микроводорослей.

В летний сезон среднемноголетнее значение температуры воды составило 10,99 °C при колебаниях от 9,2–16,8 °C. Общее число таксонов микроводорослей в июльских пробах колебалось от 4 в 2001 г. до 59 в 2010 г. Всего за время исследований было обнаружено 222 таксона из 7 отделов (см. табл. 2). Состав преобладающих водорослей изменялся в разные годы, причём в значительной степени. Комплекс доминирующих таксонов летнего фитопланктона состоял в основном из диатомовых родов — *Navicula*, *Thalassiosira*, *Skeletonema*, *Cocconeis* C.G. Ehrenberg, 1837, *Chaetoceros* C.G. Ehrenberg, 1844. Одними из доминант также были представители: зелёных (*Pyramimonas Schmarda*, 1849) в 2003, 2006, 2007, 2011 и 2012 годах, эвгленовых в 2002, 2004, 2006, 2009 и 2013 годах, динофитовых (*Protoperdinium Bergh*, 1882, *Gymnodinium arcticum* и *Kryptoperidinium triquetrum* (Ehrenberg) U. Tillmann, M. Gottschling, M. Elbrächter, W.-H. Kusber & M. Hoppenrath, 2019) в 2001, 2008, 2011 и 2012 гг.

Пробы для анализа осеннего фитопланктона были отобраны в октябре — ноябре. Температура в этот период колебалась от 2,0 °C в 2002 г. до 7,2 °C в 2011 г. Среднемноголетнее значение температуры состави-

Таблица 2. Сезонные колебания числа видов основных систематических классов фитопланктона поверхностного горизонта пролива Печаковская Салма Онежского залива Белого моря в 2001–2016 гг.

Table 2. Seasonal variation in the number of species from the main taxonomic divisions of phytoplankton in the Pechakovskaya Salma Strait in the Onega Bay of the White Sea in 2001–2016

Сезон	Отдел								Итого
	Bacillariophyceae	Dinophyceae	Chlorophyceae	Chrysophyceae	Cryptophyceae	Xanthophyceae	Euglenoidea	Cyanophyceae	
Зима	95	17	6	1	1	1	3	14	138
Весна	160	8	13	5	2	0	1	11	200
Лето	171	20	9	6	1	1	0	14	222
Осень	175	8	11	3	2	0	1	16	216
Всего таксонов	266	29	22	7	4	2	3	30	363

ло 4,32 °C, что сравнимо с таковыми данными весной. Всего в этот сезон было обнаружено 216 таксонов микроводорослей из 7 отделов (см. табл. 2). Видовое разнообразие осеннего фитопланктона находилось примерно на уровне весеннего: от 8 в 2002 г. до 48 видов в 2010 г. Явных доминантов в этот сезон не наблюдалось, обычно преобладали диатомовые водоросли, хотя их видовой состав мог несколько варьировать. Основными доминантами были представители родов *Melosira*, *Cocconeis*, *Synedra* C.G. Ehrenberg, 1830, *Thalassionema* A. Grunow ex C. Mereschkowsky, 1902.

На основе численности всех обнаруженных видов водорослей исследуемой части пролива Печаковская Салма для каждого отдельного года были рассчитаны индекс видового разнообразия сообщества (Шеннона) и индекс видового богатства (Менхиника). Индекс биоразнообразия Шеннона отражает сложность структуры сообщества и может изменяться от 0 до 5. Среднемноголетнее значение индекса Шеннона составляет 3,08 при колебаниях от 1,56 в 2004 г. и до 4,32 в 2012 г., что указывает на повышение сложности структуры сообщества фитопланктона. Индекс Менхиника отражает плотность видов или видовое богатство — один из главных компонентов биоразнообразия. Среднемноголетнее значение индекса Менхиника составило 5,9 при колебаниях от 4,4 в 2003 г. до 7,6 в 2010 г., что свидетельствует об увеличении видового богатства фитоценоза. Такие изменения индексов разнообразия происходили на фоне повышения средней температуры вод Печаковской Салмы (см. рис. 2).

В течение вегетационного периода численность, биомасса и комплекс доминирующих видов фитопланктона подвергались значительным колебаниям. Анализ динамики и распределения фитопланктона в различных районах моря осложняется возможностью их переноса в пространстве на большие расстояния и значительными флуктуациями численности во времени [Fennel, 1999]. Имеющиеся многолетние данные свидетельствуют, что обилие представителей исследуемых групп фитопланктона в одни и те же календарные сроки могут значительно различаться.

Выявить значимые тренды на фоне характерной для планктона высокой природной изменчивости затруднительно. В течение исследуемого периода средние значения численности, биомассы и количества видов фитопланктона подвергались значительным колебаниям, но вполне соответствовали сезонной изменчивости (см. табл. 3).

Численность микроводорослей в зимний период колебалась от 0,16 млн кл/м³ в 2004 г. до 75,36 млн кл/м³ в 2011 г. В весенних пробах фитопланктона, отобранных в четвертой декаде мая, численность микроводорослей колебалась от 2,00 млн кл/м³ в 2003 г. до 58,64 млн кл/м³ в 2011 г. Численность микроводорослей в летний период изменялась в большом интервале — от 0,40 млн кл/м³ в 2001 г. до 158,60 млн кл/м³ в 2012 г.

Динамика развития количественных показателей водорослей характеризуется ярко выраженной

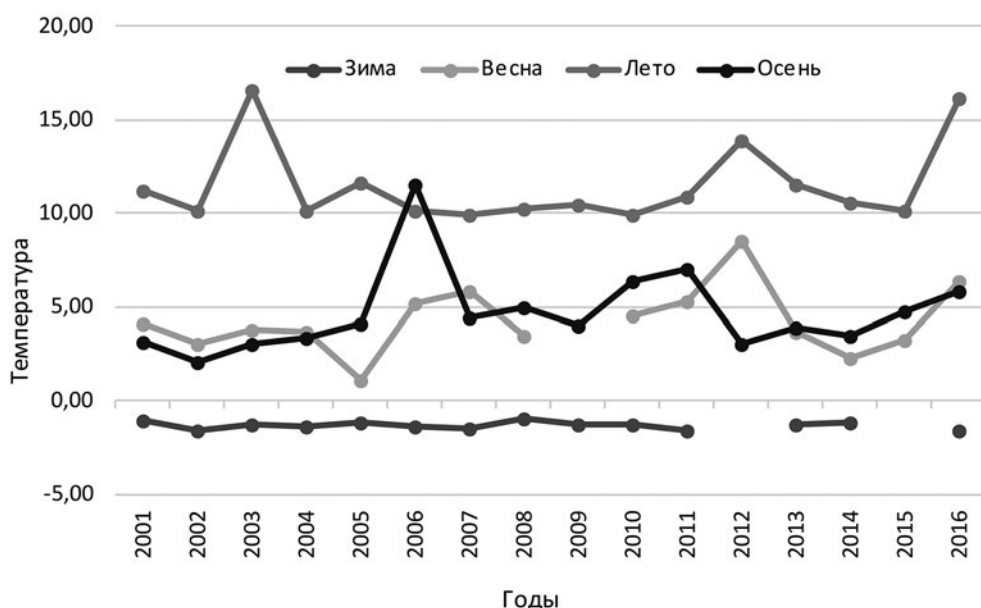


Рис 2. Многолетняя динамика сезонных значений температуры (°C) поверхностного горизонта в проливе Печаковская Салма в 2001–2016 гг.

Fig. 2. Long-term dynamics of seasonal temperature (°C) of the surface layer in the Pechakovskaya Salma Strait in 2001–2016

Таблица 3. Среднегодовые значения количественных характеристик фитопланктона поверхностного горизонта пролива Печаковская Салма Онежского залива Белого моря в 2001–2016 гг.**Table 3.** Long-term average quantitative characteristics of phytoplankton in the Pechakovskaya Salma Strait in the Onega Bay of the White Sea in 2001–2016

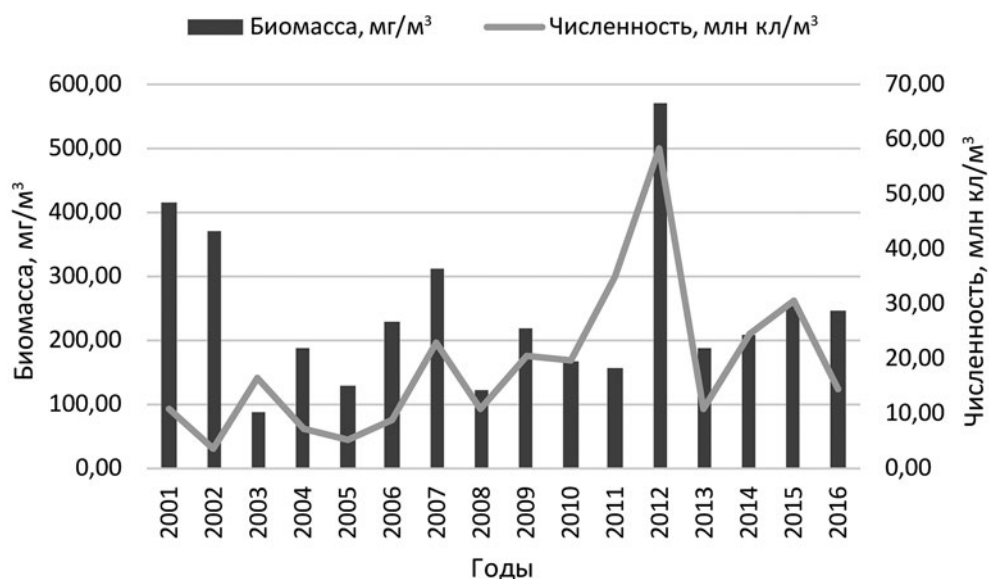
Гидрологический сезон	Численность, млн кл/м ³	Биомасса, мг/м ³	Количество таксонов в пробе
Зима (март)	$\frac{11,65}{0,16-75,36}$	$\frac{176,39}{20,43-818,30}$	$\frac{14}{2-26}$
Весна (май)	$\frac{17,57}{2,00-58,64}$	$\frac{226,25}{19,01-1168,80}$	$\frac{25}{4-46}$
Лето (июль-август)	$\frac{23,17}{0,40-158,60}$	$\frac{277,62}{40,12-960,20}$	$\frac{24}{4-59}$
Осень (октябрь)	$\frac{13,70}{0,70-103,20}$	$\frac{259,37}{34,00-1242,64}$	$\frac{26}{5-58}$
Среднегодовые показатели	17,34	240,72	22,43

сезонностью. Сильнее всего численность изменялась осенью: от минимальной в 2004 г. (0,70 млн кл/м³), до максимальной в 2012 г. (103,20 млн кл/м³). Наибольшие среднегодовые значения численности фитопланктона пришлось на лето – 23,17 млн кл/м³ и весну – 17,57 млн кл/м³, наименьшие на осень – 13,7 млн кл/м³ и зиму – 11,65 млн кл/м³, что совпадает с вегетационным периодом (см. табл. 3). Среднегодовые значения численности фитопланктона имеют довольно резкие колебания по годам (см. рис. 3).

Весной биомасса изменялась в широком диапазоне: от 19,01 мг/м³ в 2008 г. до 1168,80 мг/м³ в 2002 г., и была максимальной в 2001, 2004 и 2007 гг. К сере-

дине июня создаётся значительная масса планктона, которая сокращается в летний период (июль-август).

Минимальные значения биомассы фитопланктона в летний период наблюдались в 2011 г. (40,12 мг/м³), а максимальные – в 2012 г. (960,20 мг/м³). Осенью (октябрь-ноябрь) биомасса водорослей колебалась в пределах от 34,00 мг/м³ в начале ноября 2003 г. до 1242,64 мг/м³ в конце октября 2012 г. Биомасса в зимний период изменялась от 20,43 мг/м³ в 2009 г. до 818,30 мг/м³ в 2001 г. Таким образом, в сезонной динамике планктонных альгоценозов пролива Печаковская Салма отмечается два периода увеличения биомассы: летом – 1279,25 мг/м³ и осенью – 261,14 мг/м³, весенний период характерен меньшими

**Рис. 3.** Многолетняя динамика среднегодовых значений численности и биомассы фитопланктона поверхностного горизонта в проливе Печаковская Салма в 2001–2016 гг.**Fig. 3.** Long-term dynamics of the average annual abundance and biomass of phytoplankton in the Pechakovskaya Salma Strait in 2001–2016

показателями биомассы 231,46 мг/м³. Среднегодовые значения биомассы фитопланктона были максимальными в 2012 г. (см. рис. 3).

Интенсивность фотосинтеза водорослей определяется совокупностью межгодовых и сезонных факторов внешней среды. В Печаковской Салме средние значения концентрации хлорофилла а колебались по сезонам в небольших пределах от 0,44 мкг/л в зимний период до 0,65 мкг/л в летний период. Содержание хлорофилла а в планктоне традиционно рассматривается как показатель трофического состояния водоёма, используя для этого средние за сезон, летние или наиболее часто встречаемые величины [Алимов, 1989]. Изменения дополнительных пигментов (хлорофиллов b и c) были незначительны.

Хлорофилл b, присутствующий в хлоропластах зелёных водорослей, отмечен в меньших количествах, чем хлорофилл c, который содержится в клетках диатомовых, динофитовых и золотистых водорослей, что, вероятно, связано с преобладанием диатомовых водорослей в фитопланктоне губы. Содержа-

ние каратиноидов также изменялось незначительно и находилось на уровне суммы хлорофиллов (см. табл. 4).

Исследование продукционных показателей фитопланктонного сообщества и их изменений в районе Печаковской Салмы являются необходимыми для мониторинга всей экосистемы, так как эти данные в правильной интерпретации позволяют прогнозировать и отслеживать изменения основных трофических цепочек и всей экосистемы в целом. Основным продуктивным слоем в Белом море является слой 0–15 м практически во все сезоны [Алимов, 1989].

Значения первичной продукции (ПП), в Печаковской Салме, представленные для поверхностного горизонта варьировались в широком диапазоне. Это может быть обусловлено межгодовыми изменениями факторов внешней среды (погодными условиями, температурой, солёностью, освещённостью, количеством биогенных элементов и т.д.). В весенний и летний периоды отмечены высокие уровни фотосинтеза планктона (см. табл. 5).

Таблица 4. Среднемноголетние значения концентрации пигментов фитопланктона поверхностного горизонта пролива Печаковская Салма Онежского залива Белого моря в 2001–2016 гг. (в мкг/л).

Table 4. Long-term average concentration of phytoplankton pigments in the Pechakovskaya Salma Strait in the Onega Bay of the White Sea in 2001–2016 (µg/l)

Гидрологический сезон	Хлорофилл а	Хлорофилл b	Хлорофилл c	Сумма хлорофиллов	Каратиноиды
Зима	$\frac{0,44}{0,05-2,05}$	$\frac{0,82}{0,05-3,24}$	$\frac{1,02}{0,09-4,85}$	$\frac{2,27}{0,26-10,14}$	$\frac{2,81}{0,57-17,50}$
Весна	$\frac{0,57}{0,08-2,92}$	$\frac{0,56}{0,03-3,70}$	$\frac{0,77}{0,04-4,36}$	$\frac{1,89}{0,24-10,98}$	$\frac{2,28}{0,47-15,71}$
Лето	$\frac{0,69}{0,10-2,40}$	$\frac{0,37}{0,03-2,10}$	$\frac{0,52}{0,06-1,92}$	$\frac{1,57}{0,24-3,74}$	$\frac{1,59}{0,30-3,87}$
Осень	$\frac{0,65}{0,09-3,11}$	$\frac{0,44}{0,05-1,77}$	$\frac{0,69}{0,01-3,02}$	$\frac{1,77}{0,32-6,54}$	$\frac{1,85}{0,22-6,80}$
Среднегодовые показатели	0,60	0,52	0,71	1,82	2,05

Таблица 5. Среднемноголетние значения продукционных показателей фитопланктона поверхностного горизонта пролива Печаковская Салма Онежского залива Белого моря в 2001–2016 гг.

Table 5. Long-term average indices of phytoplankton production in the Pechakovskaya Salma Strait in the Onega Bay of the White Sea in 2001–2016

Гидрологический сезон	Продукция, мг С/м ³ ·сутки	Р/В-коэффициент
Зима (март)	$\frac{16,33}{2,35-70,28}$	$\frac{2,64}{1,33-2,99}$
Весна (май)	$\frac{20,71}{2,22-97,37}$	$\frac{2,65}{2,32-3,08}$
Лето (июль-август)	$\frac{25,52}{4,37-81,28}$	$\frac{2,55}{2,29-2,91}$
Осень (октябрь)	$\frac{23,67}{3,76-103,03}$	$\frac{2,59}{2,21-2,90}$
Среднегодовые показатели	22,13	2,60

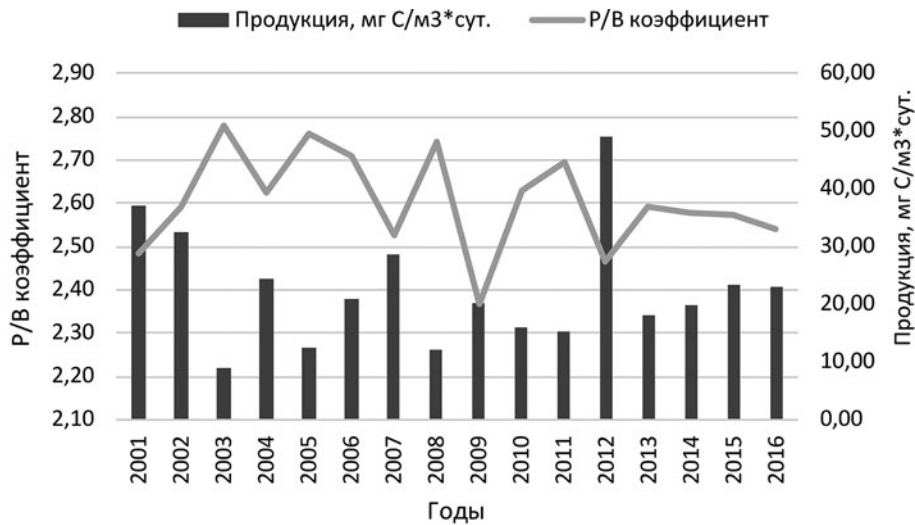


Рис. 4. Многолетняя динамика среднегодовых значений продукции и Р/В-коэффициента фитопланктона поверхностного горизонта в проливе Печаковская Салма в 2001–2016 гг.

Fig. 4. Long-term dynamics of average annual production and P/B-coefficient of phytoplankton in the Pechakovskaya Salma Strait in 2001–2016

Однако следует отметить, что весной наблюдения проводились в конце мая, когда пик цветения фитопланктона, обусловленный сходом льда, уже прошёл. Осенью и зимой при низкой температуре воды и освещённости величины ПП обычно находились на низком уровне. Однако в последние годы отмечается увеличение продуктивности что, вероятно, связано с повышением температуры воды (см. рис. 4) [Бергер, 2007].

В целом за 16 лет исследований наивысшие среднесезонные продукционные показатели были отмечены в период гидрологического лета (25,52 мг С/м³·сут.), среднеосенний показатель оказался чуть ниже и составил 23,67 мг С/м³·сут., весенний период в среднем оказался немногим более продуктивным (средний показатель составил 20,71 мг С/м³·сут.), чем зимний (16,33 мг С/м³·сут.) (см. табл. 5). Таким образом, наивысшую продукционную активность фитопланктонное сообщество Печаковской Салмы в среднем проявляло в период гидрологического лета и осени, хотя для Белого моря в целом продукционные максимумы фитопланктона характерны для гидрологической весны. В шестнадцатилетнем ряду исследований минимальная продуктивность наблюдалась в зимний период 2009 г. (2,35 мг С/м³·сут.), а максимальная (70,28 мг С/м³·сут.) — в 2001 г. Весенний минимум продуктивности фитопланктона был отмечен в 2008 г. (2,22 мг С/м³·сут.), а максимум пришёлся на 2002 г. и составил 97,37 мг С/м³·сут.; летние минимум и максимум принадлежали 2011 и 2012 гг. и составили 4,37 и 81,28 мг С/м³·сут., соответственно; осенние значения были минимальными в 2003 г. (3,76 мг С/м³·сут.)

и максимальными в 2012 г. (103,03 мг С/м³·сут.). Среднегодовой показатель первичной продукции за весь период исследований составил 22,13 мг С/м³·сут. при минимуме 8,25 мг С/м³·сут. в 2003 г. и максимуме 48,93 мг С/м³·сут. в 2012 г. (см. рис. 4). Следует отметить, что значения первичной продукции фитопланктона поверхностного слоя пролива Печаковская Салма, рассчитанные косвенным методом [Шемшур и др., 1990], были меньше натурных данных для Онежского залива, определённых с помощью кислородного и радиоуглеродного методов [Бергер, 2007; Чугайнова, Македонская, 2009].

Важной продукционной характеристикой также служит Р/В-коэффициент (отношение продукции к биомассе за какой-либо промежуток времени), который показывает степень фотосинтетической активности единицы биомассы фитопланктона. В районе Печаковской Салмы суточный Р/В-коэффициент изменялся в диапазоне от 1,33 до 2,99. Наибольшие среднесезонные показатели Р/В-коэффициента были отмечены в период гидрологической весны и конца зимы (2,65 и 2,64, соответственно), среднеосенний показатель составил 2,59 и оказался чуть выше летнего — 2,54. За весь период наблюдений минимальный Р/В-коэффициент в зимний период (1,33) был обнаружен в 2009 г., а максимальный (2,99) — в 2002 г. Весенний минимум коэффициента был отмечен в 2007 г. (2,32), а максимум пришёлся на 2008 г. и составил 3,08; летние минимум и максимум принадлежали 2001 и 2011 гг. и составляли 2,29 и 2,91, соответственно; осенние значения были минимальными в 2012 г. (2,21) и максимальными в 2005 г.

(2,90). Среднегодовой показатель суточного Р/В-коэффициента за весь период исследований составил 2,63, при минимуме 2,37 в 2009 г. и максимуме 2,78 в 2003 г. (см. рис. 4).

По статистическим данным видно, что разброс элементов выборки относительно среднего значения самый высокий по биомассе – 233,99; самый низкий по Р/В-коэффициенту – 0,22. Наиболее часто встречающиеся значения в выборке повторяются в биомассе – 88,00, а минимальные повторения по температуре – минус 1 °С (см. табл. 6).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований выяснилось, что в последние годы наблюдений в водах пролива Печаковская Салма Онежского залива Белого моря наблюдалось повышение температуры воды в весенний, летний и, особенно, осенний периоды. Солёность менялась незначительно и была довольно стабильной в течение года. Рассмотренные факторы влияют на состав и распределение фитопланктона, а также оказывают косвенное воздействие на его биологическую продуктивность.

В исследованном проливе было обнаружено 363 таксона микроводорослей, принадлежащих к 8 отделам. Наиболее богато представлены отделы Bacillariophyta – 266 таксонов (75–80%), Cyanophyta – 30, Dinophyta – 29 и Chlorophyta – 22 таксона. В целом по составу ведущих родов, семейств и порядков исследованную планктонную альгофлору можно охарактеризовать как диатомово-цианобактериальную с заметным участием динофитовых и зелёных водорослей. Однако зелёные микроводоросли и цианобактерии встречались

единично и не оказывали существенного влияния на формирование общей численности и биомассы фитопланктона. Наиболее бедным было видовое разнообразие зимнего фитопланктона, а наиболее богатым – летнего. Осенью количество обнаруженных таксонов микроводорослей несколько выше, чем весной. Индекс биотической дисперсии Коха составил 90%, что говорит о максимально высокой степени схожести видового состава фитопланктона Печаковской Салмы по годам, несмотря на изменения факторов среды. Среднемноголетнее значение индекса видового разнообразия сообщества Шеннона составляет 3,08 при колебаниях от 1,56 в 2004 г. и до 4,32 в 2012 г., что указывает на повышение сложности структуры сообщества фитопланктона. Среднемноголетнее значение индекса видового богатства Менхиника составило 5,92 при колебаниях от 4,4 в 2003 г. до 7,6 в 2010 г., что свидетельствует об увеличении видового богатства фитоценоза.

Качественные и количественные характеристики фитопланктона в районе исследований в разные годы имеют явно выраженные сезонные отличия, что является вполне закономерным явлением. Содержание фотосинтетических пигментов в водах пролива Печаковская Салма представлено широким диапазоном величин, свидетельствующим о значительной пространственной изменчивости обилия фитопланктона. Сезонные и межгодовые изменения продуктивности планктонных водорослей можно объяснить динамикой погодных и гидрологических условий. Причины межгодовых вариаций продуктивности фитопланктона в один и тот же биологический сезон разных лет остаются пока недостаточно раскрытыми. Следует отметить, что значения первичной продук-

Таблица 6. Статистические характеристики гидробиологических показателей и параметров среды в поверхностном слое воды пролива Печаковская Салма Онежского залива Белого моря в 2001–2016 гг.

Table 6. Statistical characteristics of hydrobiological indicators and environmental parameters in the surface layer of the Pechakovskaya Salma Strait in the Onega Bay of the White Sea in 2001–2016

Статистическая характеристика	Численность, млн кл./м ³	Биомасса, мг/м ³	Количество видов в пробе	Хлорофилл а, мг/м ³	Продукция, мг С/м ³ · сутки	Р/В коэффициент	Температура, °С	Солёность
Среднее значение	17,34	241,15	22,43	0,60	22,13	2,59	5,41	25,32
Стандартное отклонение	22,21	233,99	12,17	0,59	19,69	0,22	4,82	3,02
Медиана	9,44	145,68	22,00	0,36	14,33	2,62	4,9	26,35
Мода	0,48	88,00	24,00	0,22	4,45	2,66	-1	26,70
Максимальное значение	158,60	1242,64	59,00	3,11	103,03	3,08	16,8	28,47
Минимальное значение	0,160	19,010	2,000	0,05	2,22	1,33	-1,7	5,1

ции фитопланктона поверхностного слоя пролива Печаковская Салма, рассчитанные косвенным методом (по формуле Шемшура) были меньше натурных данных для Онежского залива, определённых с помощью кислородного и радиоуглеродного методов. Полученный диапазон значений суточных Р/В-коэффициентов фитопланктона для пролива позволяет оценивать воздействие на водные биоресурсы и среду их обитания.

В исследованном районе Онежского залива Белого моря антропогенного влияния на показатели жизнедеятельности фитопланктона в 2001–2016 гг. не выявлено, что даёт возможность использовать полученные характеристики планктонного альгоценоза как фоновые для сравнения с другими участками моря в районе Соловецкого архипелага.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов.

Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

Финансирование

Работа выполнена по заданию Федерального агентства по рыболовству в рамках государственной работы: Осуществление государственного мониторинга водных биологических ресурсов во внутренних водах, в территориальном море Российской Федерации, на континентальном шельфе Российской Федерации и в исключительной экономической зоне Российской Федерации, в Азовском и Каспийском морях, подраздел: Осуществление мониторинга среды обитания водных биологических ресурсов, метеорологических и океанографических условий в арктических морях в 2001–2016 гг.

ЛИТЕРАТУРА

- Алимов А.Ф. 1989. Введение в продукционную гидробиологию. Л.: Гидрометеиздат. С. 30–31.
- Бергер В.Я. 2007. Продукционный потенциал Белого моря. Исследования фауны морей. СПб: ЗИН РАН. 292 с.
- Диатомовый анализ. 1949. Под ред. А.И. Прошкиной-Лавренко. М.: Геолог. литер. Т. 2. 444 с., Т. 3. 594 с.
- Ильяш Л.В., Житина Л.С., Фёдоров В.Д. 2003. Фитопланктон Белого моря. М.: Янус-К. 168 с.
- Киселёв И.А. 1957. Особенности распределения фитопланктона в Белом море // Материалы по комплексному изучению Белого моря. М. — Л. Вып.1. С. 282–304.
- Курсанов Л.И. 1953. Определитель низших растений. М.: Советская наука. Т. 2. 312 с.

Петров Ю.А. 1967. Синезеленые и диатомовые водоросли литорали Большого Соловецкого острова (Белое море) // Новости систематики низших растений. Л.: Наука. С. 15–20.

Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. 1983. / ред. Абакумов В.А. Л.: Гидрометеиздат. 192 с.

Сапожников В.В. 2003. Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана. М.: Изд-во ВНИРО. 140 с.

Виноградов М.Е. 1983. Современные методы количественной оценки распределения морского планктона. М.: Наука. 154 с.

Солянкин Е.В., Зозуля С.А., Кровнин А.С., Масленников В.В. 1991. Термохалинная структура и динамика вод Белого моря летом 1991 г. // Экосистема Белого моря: Сб. научн. трудов. М.: ВНИРО. С. 8–25.

Тиходеева М.Ю., Лебедева В.Х. 2015. Практическая геоботаника (анализ состава растительных сообществ): учеб. пособие. СПб: Изд-во С. Петерб. ун-та. 166 с.

Чугайнова В.А., Македонская И.Ю. 2009. Первичная продуктивность фитопланктона в проливе Печаковская Салма Белого моря в летний период. // Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоёмов Европейского севера. Мат. XVIII Межд. конф. 5.10–8.10. 2009 г. Петрозаводск. С. 605–607.

Чугайнова В.А. 2010. Комплексные исследования экосистемы Онежского залива Белого моря в 2001–2008 гг. // Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря. Мат. XI Всерос. конф. с междунар. участием. С.-Петербург, 9.11–11.11 2010 г. ЗИН РАН. СПб. С. 205–206.

Шемшура В.Е., Финенко З.З., Бурлакова З.П., Крупаткина Д.К. 1990. Оценка первичной продукции морского фитопланктона по хлорофиллу а, относительной прозрачности и спектру восходящего излучения // Океанология. Т. 30, Вып. 3. С. 479–485.

Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. 2003. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти: ИЭВБ РАН. 463 с.

Koch L.P. Index of biotal dispersity // Ecology. 1957. V.38, № 1. P. 145–148

Shannon C.E., Weaver W. The mathematical theory of communication. Urbana: The Univ. of Illinois Press, 1949. 117 p.

Fennel W., 1999. Theory of the Benguela upwelling system. Journal of Physical Oceanography 29, P. 177–190

REFERENCES

- Alimov A.F. 1989. Introduction to Productional Hydrobiology. Gidrometeoizdat Press, Leningrad. Pp. 30–31 (In Russian).
- Berger V. Ya. 2007. The production potential of the White Sea. Studies of the fauna of the seas. Vol. 60 (68). — St. Petersburg: ZIN RAS. 292 pp.
- Kryshovich A.N. 1949. Diatom Analysis. In three vol. "Geologicheskaya Literatura" Press, Moscow. Vol. 3, 594 pp. Vol. 2, 435 pp. (In Russian).

- Ilyash L.V., Zhitina L.S., Fedorov V.D. 2003. Phytoplankton in the White Sea. Yansk – K Press, Moscow. 168 pp. (In Russian).
- Kiselev I.A. 1957. Particularities of Phytoplankton Distribution in the White Sea. *In* Collected Materials on Comprehensive Studies on the White Sea, pp. 282–304. Issue 1. Leningrad Press, Moscow (In Russian).
- Kursanov L.I. 1953. Manual for the Identification of Inferior Plants. Vol. 2. Sovetskaya Nauka Press, Moscow. 312 pp. (In Russian)
- Petrov Yu.A. 1967. Blue-green Algae and Diatoms in the Littoral of Bolshoy Solovetsky Island (White Sea). *In* News of the Taxonomy of Lower Plants, pp. 15–20. Nauka Press, Leningrad. (In Russian)
- Abakumov V.A. 1983. Guidelines for the Methods of Biological Analysis of Seawater and Bottom Sediments. Gidrometeoizdat Press, Leningrad. 192 pp. (In Russian)
- Sapozhnikov V.V. 2003. Guidelines for the Chemical Analysis of Sea and Fresh Waters in the Environmental Monitoring of Fishery Water Bodies and the World Ocean Areas with Fisheries Potential. VNIRO Press, Moscow. 140 pp. (In Russian)
- Vinogradov M.E. 1983. Advanced Techniques for Quantitative Assessment of the Marine Plankton Distribution. Nauka Press, Moscow. 154 pp. (In Russian)
- Solyankin E.V., Zozulya S.A., Krovvin A.S., Maslennikov V.V. 1994. Thermohaline Structure and Dynamics of the White Sea Waters in Summer 1991. *In* Ecosystem of the White Sea: Proceedings, pp. 8–25. VNIRO Press, Moscow (In Russian).
- Tikhodeeva M. Yu., Lebedeva V. Kh. 2015. Applied Geobotany. Analysis of the Composition of Plant Communities: Textbook. St. Petersburg University Press, St. Petersburg. 166 pp. (In Russian)
- Chugainova V.A., Makedonskaya I.Y. 2009. Primary productivity of phytoplankton in the Pechakovskaya Salma Strait of the White Sea in summer. *In* Biological resources of the White Sea and inland water bodies of the European North. – Proceedings of the XVIII International Conference (5–8 October 2009, Petrozavodsk), pp. 605–607 (In Russian).
- Chugainova V.A. 2010. Comprehensive Studies on the Ecosystem in the Onega Bay of the White Sea in 2001–2008. *In* Issues of Studies, Sustainable Use and Protection of Natural Resources in the White Sea: Proceedings of the XI All-Russian Conference with International Participation (9–11 November 2010, St. Petersburg), pp. 205–206. Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg (In Russian).
- Shemshura V.E., Finenko Z.Z., Burlakova Z.P., Krupatkina D.K. 1990. Assessment of the Primary Production of Marine Phytoplankton by Chlorophyll *a*, Relative Transparency and Upstream Spectra. *Okeanologiya*, 30 (3): 479–485. (In Russian).
- Shitikov V.K., Rosenberg G.S., Zinchenko T.D. 2003. Quantitative Hydroecology: Methods of Systematic Identification. Institute of Ecology of Volga Baisin RAS, Togliatti. 463 pp. (In Russian)
- Koch L.P. 1957. Index of Biotal Dispersity. *In* Ecology. Vol. 38 (1), pp. 145–148.
- Shannon C.E., Weaver W. 1949. The Mathematical Theory of Communication. Urbana: The University of Illinois Press, 117 pp.
- Fennel W. 1999. Theory of the Benguela upwelling system // *J. of Physical Oceanography* 29, P. 177–190

Поступила в редакцию 31.07.2021 г.
Принята после рецензии 03.10.2021 г.

Рыболовство

Способ улучшения селективных качеств ловушек для промысла камчатского краба

А.А. Павленко, А.А. Лихошапко, А.Ю. Лихограев, С.В. Шмелев, С.Г. Лютый

Полярный филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО») им. Н.М. Книповича, ул. Академика Книповича, 6, г. Мурманск, 183038

E-mail: pavlenko@pinro.ru

Целью работы является улучшение селективных качеств донных крабовых ловушек, применяемых на промысле камчатского краба в Баренцевом море, посредством жёстких селективных «окон».

Используемые методы: определение селективности ловушек выполнено методом сравнительного лова ловушками, оснащёнными селективными «окнами» и без них. Оценка выполнена сравнением уловов ловушек без селективных «окон» с уловами ловушек, оснащённых «окнами» разного размера. Уловы ловушек оценивались по средним значениям ширины карапакса крабов, их количеству, глубине лова и его продолжительности. Эксперимент проведён в прибрежной зоне баренцевоморского побережья Кольского полуострова на диапазонах глубин 160–255 м в летне-осенний период. В исследовании применялись однотипные конусные ловушки с одинаковым видом наживки (приманки).

Новизна: селективность крабовых ловушек на промысле камчатского краба в Баренцевом море с помощью жёстких «окон» для отсева молоди краба ранее не применялась и не регулировалась. Результат применения подобного селективного устройства не оценивался.

Результат: проведённые исследования показали эффективность применения жёстких селективных «окон» для уменьшения прилова краба непромыслового размера. Испытания выявили прямую зависимость средней ширины карапакса краба в уловах ловушек от диаметра селективного «окна», что подтверждает возможность снижения прилова маломерных особей при использовании в ловушках селективных «окон» заданного размера (диаметра).

Практическая значимость: применение селективных окон позволит повысить эффективность ловушечного промысла, сократить время на сортировку улова и уменьшить количество маломерных особей, подвергнувшихся воздействию неблагоприятных факторов промысла.

Ключевые слова: Баренцево море, крабовые ловушки, селективность, крабовый промысел, селективные окна.

The ability to improve the selectivity of pots for the king crab

Alexander A. Pavlenko, Artem A. Likhoshapko, Andrey Y. Likhograev, Sergey V. Shmelev, Sergey G. Lyutiy

Polar Branch of VNIRO (N.M. Knipovich «PINRO»), 6, Academician Knipovich St., Murmansk, Russia

The aim of this work is to analyze the impact on crab traps' selective properties of the use of a selective device that employs openings ("windows") in fish netting. These "windows" are formed using sewn-in wire rings located in the lower part of net sides, and are used for escape of non-commercial crab.

Methods used: Trap lines were set in the Barents Sea nearshore zone, within the 160–255 m depth range. Both types of traps, with the selective windows and without, were included in each line. The lines were taken onboard following 1 to 14 overboard days. All catch was counted and measured. The catch results of both standard and selective traps were compared and analyzed.

Feature of novelty: Kamchatka crab fishery in the Barents Sea with the use of selective traps have never been performed before, and no application results of such selective device have been estimated yet.

The conclusion: The performed studies proved the efficiency of the selective windows in reduction of non-commercial crab catches. The studies revealed the positive correlation between the average carapace width of the crabs caught and the selective window diameter. This confirms the potential for reduction of small-sized crab catch when using selective windows of a given size.

Practical significance: the use of the selective windows will increase the trap fishing efficiency and reduce catch sorting times as well as the amount of small-sized crab exposed to the adverse factors.

Keywords: Barents Sea, Crab pots, Selectivity, Crab pot fishing, Selective windows.

ВВЕДЕНИЕ

В результате удачных экспериментов по интродукции камчатского краба (*Paralithodes camtschaticus* (Tilesius, 1815)) в Баренцевом море новый для этой акватории вид не только успешно прижился, но и увеличил уровень своей популяции до размеров, позволяющих осуществлять его промысел [Камчатский краб..., 2003].

Крабовый промысел в настоящее время ведётся при помощи ловушек нескольких типов, а именно: конических, прямоугольных и трапециевидных.

Основой конструкции для всех видов ловушек является жёсткий каркас, обеспечивающий сохранение их формы. Исключение составляет прямоугольная складная ловушка, чья форма поддерживается благодаря плавучести, закреплённому на её верхней раме. Каркас

обтягивается сетной делью. В устройстве всех ловушек предусмотрено отверстие для входа краба и снабжения ловушки приманкой. Нижние рамы каркаса утяжелены для предотвращения возможного опрокидывания ловушки при постановке ловушечного порядка. Основные конструктивные отличия определяются геометрической формой, линейными размерами, способом выливки улова и вариантами хранения ловушек на палубе. Так, у конических ловушек дель на нижней раме развязывается, а складные прямоугольные ловушки складываются, что позволяет осуществлять их хранение стопками, то есть более компактно.

Все типы крабовых ловушек, применяемых в Баренцевом море, имеют высокие эксплуатационные и уловистые качества, которые необходимы для стабильной работы крабового промысла. Однако, требования Правил рыболовства к конструкции ловушек не обеспечивают их должную селективность. Так, согласно Правилам рыболовства для Северного рыбохозяйственного бассейна,¹ разрешены к вылову самцы камчатского краба с минимальным размером карапакса 150 мм и краба стригуна-опилио (*Chionoecetes opilio* (O. Fabricius, 1788)) с минимальным размером карапакса 100 мм, при этом минимальный внутренний размер ячеи в ловушках принят в 70 и 50 мм, соответственно. Очевидно, что при таких значениях минимального размера ячеи селективные качества ловушек очень низкие, так как через ячею с внутренним размером 70 мм физически может пройти краб с размером карапакса не более 35 мм. Соответственно, при таких размерах ячея ловушки не обеспечивает селективность обловленного краба, размер карапакса которого более 35 мм. То есть, в уловах ловушек остаётся значительное количество маломерных крабов, запрещённых к вылову, размер карапакса которых составляет менее 150 мм.

Между тем, пункт 8.5 Кодекса ведения ответственного рыболовства, принятого ФАО 31 октября 1995 г.,² предписывает использование методов и орудий лова, обладающих хорошей селективностью, позволяющих минимизировать экологический ущерб от их эксплуатации.

Удержание ловушками большого количества краба непромыслового размера приводит к неизбежности ручной сортировки его улова на борту судна и обратному выпуску в море запрещённых к вылову экземпляров, что существенно увеличивает риск нанесения травм выпускаемой молоди краба. Кроме того, при нахождении на палубе и возврате в естественную

среду краб подвергается обезвоживанию, перепадам температуры и давления, а также другим факторам, снижающим выживаемость выпущенных особей [Метелёв, 2009; Urban, 2015].

Для уменьшения доли непромыслового краба в улове предлагается применение селективного устройства, позволяющего отсеивать маломерные экземпляры ещё до поднятия ловушек на борт, с использованием в конструкции выпускных отверстий — «окон». Подобные устройства с успехом применяются в некоторых странах, занимающихся интенсивным крабовым промыслом, например, США.³

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В эксперименте по изучению селективных качеств конусных крабовых ловушек использовались специальные выходные отверстия, далее именуемые селективными «окнами». Маломерный краб, попавший в ловушку, большей частью выходит из неё через эти «окна», в то время как краб промыслового размера удерживается ловушкой, поскольку размер селективного «окна» меньше минимально допустимого промыслового размера краба. Регулирование размерного ряда удерживаемого краба осуществлялось подбором размера внутреннего диаметра такого селективного «окна».

Селективные «окна», использовавшиеся в эксперименте, представляли собой кольца, изготовленные из стальной проволоки диаметром 4 мм, с внутренним диаметром от 110 до 165 мм (рис. 1).

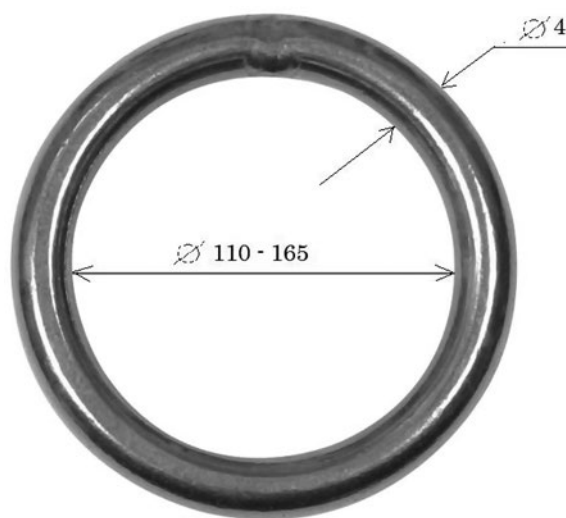


Рис. 1. Селективное выпускное «окно» из стальной проволоки

Fig. 1. Steel-wire escape selective window

¹ Приказ Минсельхоза России от 30 октября 2014 г. № 414 «Об утверждении правил рыболовства для Северного рыбохозяйственного бассейна» (в ред. от 26.10.2018 № 476).

² FAO. 1995. Code of Conduct for Responsible Fisheries. Rome, FAO. 41 p.

³ Southeast Alaska Shellfish Pot Requirements //Shellfish Gear Requirements, 2011. Доступно через <https://www.adfg.alaska.gov/index.cfm?adfg=librarypublications.main#fisheries> 13.11.2019.

Селективные «окна» устанавливались на сетную оболочку ловушки равномерно по её периметру на высоте 1–1,5 ячеи от дна ловушки.

Размер использованных в эксперименте конусных ловушек был равен по нижнему диаметру 1,4 м, по верхнему диаметру – 0,8 м и по высоте – 0,8 м (рис. 2). Конус входной горловины был равен по большому диаметру 0,7 м, по меньшему диаметру 0,58 м и по высоте 0,3 м (см. рис. 2). Каркас ловушек был обтянут сетной полиэтиленовой делью, выполненной из верёвки в одно сложение диаметром 4 мм, с внутренним размером ячеи 70 мм.

В исследовании использовались порядки, состоящие из нескольких экспериментальных конусных ловушек, каждая из которых была оснащена селективными «окнами» определённого диаметра, причём, для каждой ловушки использовался свой диаметр окон, и одной контрольной стандартной ловушкой без «окон». Каждая экспериментальная ловушка оснащалась четырьмя селективными «окнами». «Окна» устанавливались на расстоянии 100–150 мм от основания ловушки, что составляет 2–2,5 ячеи от нижнего кольца каркаса ловушки.

Расположение ловушек с «окнами» и контрольной ловушки без «окон» в ловушечном порядке для разных постановок выполнялось случайно-выборочным способом для исключения возможной систематической ошибки, которая может возникнуть в зависимости от местоположения ловушки в порядке.

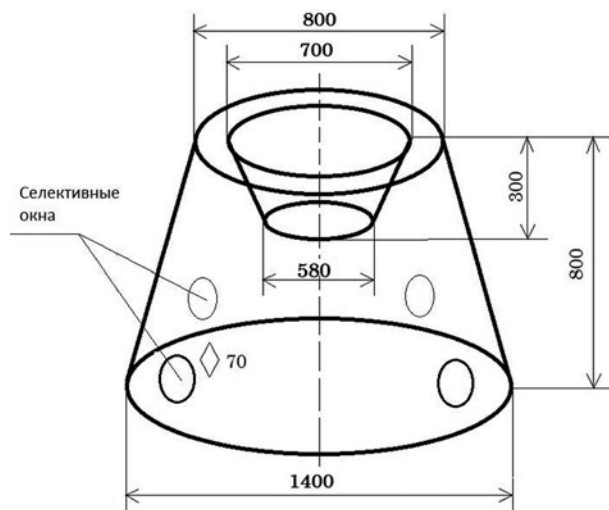


Рис. 2. Размеры конусной ловушки

Fig. 2. Conical pot dimensions

Ловушки были соединены в порядок единой хребтины, изготовленной из каната положительной плавучести диаметром 25–30 мм. К хребтине ловушки были подсоединены поводцами, изготовленными из верёвки положительной плавучести диаметром 10 мм и длиной 1,0–1,2 м. Поводцы с ловушками были прикреплены к хребтине на расстоянии 40 м друг от друга. Таким образом, дистанция между ловушками в процессе лова находилась в диапазоне от 38 до 42 м. На поверхности воды ловушечный порядок обозначался плавучими буй-

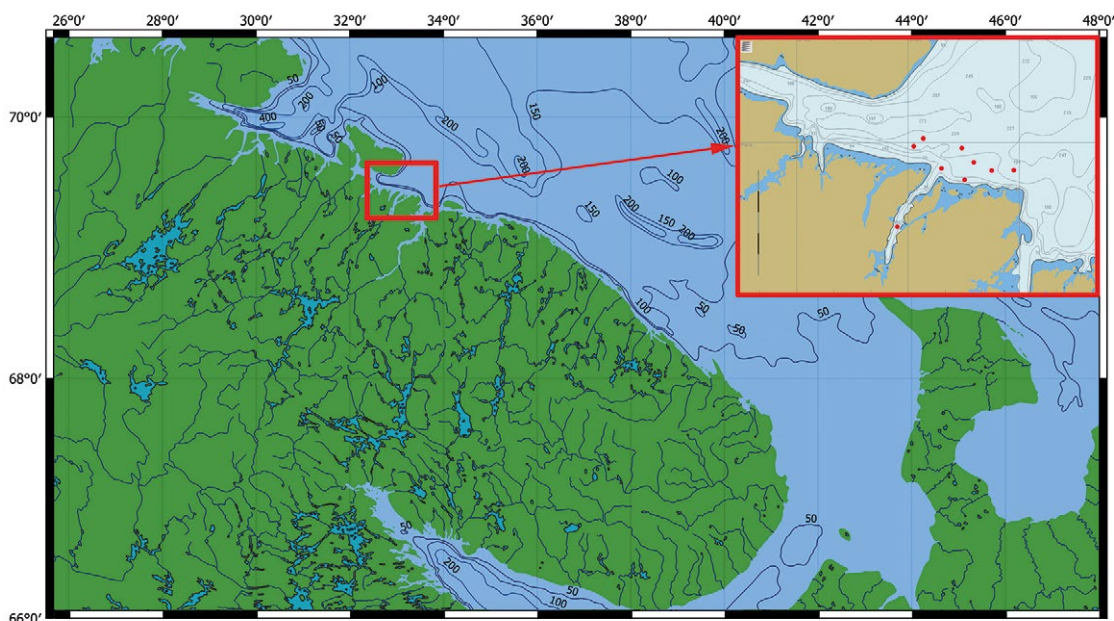


Рис. 3. Район проведения работ по определению уловистости и селективности конусных крабовых ловушек, оснащённых селективными «окнами»

Fig. 3. Area of trials conducted to define catch efficiency and selectivity of cone crab pots equipped with escape «windows»

ми, которые подсоединялись к порядку посредством буйрепа и буйлиня. Длина буйрепа соответствовала глубине места лова, длина буйлиня была равна десяти метрам.

В качестве наживки использовали отходы переработки трески и сельди, в соотношении 80% трески и 20% сельди. Наживку укладывали в специальные мешочки, которые подвешивали в ловушки. Масса наживки на одну ловушку составляла 2,5–3 кг.

Эксперименты по определению уловистости и селективности конусных крабовых ловушек, оснащённых селективными «окнами» и без них, проводились в прибрежной зоне Баренцева моря (район губы Кислая и Мотовский залив) с 2011 по 2015 гг. в летне-осенний период на глубинах от 106–255 м (табл. 1). Продолжительность застоя ловушечных порядков составляла от 1 до 14 суток (табл. 2). Район проведения экспериментов показан на рис. 3.

Таблица 1. Количество выполненных ловов ловушками, оснащёнными и не оснащёнными селективными «окнами», по диапазонам глубин

Table 1. Numbers of catches performed with pots both equipped and not equipped with escape selective «windows», depending on depth intervals

Глубина, м	Окно – 110 мм, шт.	Окно – 120 мм, шт.	Окно – 125 мм, шт.	Окно – 135 мм, шт.	Окно – 145 мм, шт.	Окно – 155 мм, шт.	Окно – 165 мм, шт.	Без окон, шт.
106–115	–	–	26	25	26	26	–	26
116–125	13	13	6	21	21	20	–	21
126–135	–	1	4	8	8	7	1	9
146–155	–	–	–	5	5	5	5	5
156–165	–	–	–	6	6	5	5	5
166–175	–	–	–	1	3	1	1	3
176–185	–	–	–	4	4	4	4	4
186–195	–	–	–	10	10	10	10	9
196–205	–	–	–	13	13	11	12	12
216–225	–	–	–	15	15	14	14	13
226–235	–	–	–	6	7	8	5	6
236–245	–	–	–	4	4	3	4	4
246–255	–	–	–	1	1	1	1	1
Сумма	13	14	36	119	123	115	62	118
Всего								600

Таблица 2. Количество выполненных ловов ловушками, оснащёнными и не оснащёнными селективными «окнами», в соответствии с продолжительностью застоя

Table 2. Quantity of completed catches with the pots, equipped and non-equipped with «windows» by duration of pots setting
Numbers of catches performed with pots both equipped and not equipped with escape, depending on pot holding time

Продолжительность застоя, сут.	Окно – 110 мм, шт.	Окно – 120 мм, шт.	Окно – 125 мм, шт.	Окно – 135 мм, шт.	Окно – 145 мм, шт.	Окно – 155 мм, шт.	Окно – 165 мм, шт.	Без окон, шт.
1	–	–	2	2	2	2	–	2
2	3	3	13	56	58	56	36	53
3	4	5	14	30	31	29	10	31
4	3	3	3	13	14	11	6	14
5	1	1	2	7	7	7	4	8
6	1	1	1	4	4	4	2	3
7	–	–	–	5	5	4	4	5
9	–	–	1	1	1	1	–	1
14	1	1	–	1	1	1	–	1
Сумма	13	14	36	119	123	115	62	118
Всего								600

После выборки порядка производился промер ширины карапакса всех пойманных крабов из каждой ловушки порядка с распределением по полу и с занесением данных промера в соответствующую карточку лова. Замер максимальной ширины карапакса крабов выполнялся штангенциркулем с точностью до миллиметра.

По результатам промеров выполнен анализ размерных рядов пойманных крабов из ловушек с селективными «окнами» и без них с учётом глубины места лова и продолжительности застоя.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Всего за время проведения эксперимента было обработано 128 постановок ловушечных порядков, промерено 19719 экземпляров камчатского краба из уловов 600 ловушек.

По результатам промеров всех типов ловушек определены размерные составы уловов ловушек, оснащённых селективными «окнами» разного диаметра и без «окон» (табл. 3, рис. 4). Так, средний диапазон размерного состава (по ширине карапакса) в ловушках без селективных «окон» составил от 62 до 211 мм с модальной группировкой 102–132 мм и средним

размером 118,32 мм. Результаты измерений приведены в табл. 3.

Для определения корреляционных связей величины и размерного состава уловов ловушек с их оснасткой селективными «окнами» разного размера, с глубиной лова, а также с продолжительностью застоя ловушечных порядков, уловы всех ловушек были оценены в соответствии с диапазонами глубин лова (табл. 1) и продолжительностью застоя (табл. 2). Для корректного сопоставления результатов лова ловушками их уловы были приведены к единой величине — улову на стандартное усилие, которое равно улову на одну ловушку. Для этого суммарный вылов ловушек определённого типа делился на соответствующее обработанное их количество (улов экз./ловушка) (рис. 4).

Оценка взаимосвязи величины улова ловушек с разными размерами селективных «окон» в зависимости от продолжительности застоя показала наличие корреляционных зависимостей. Так, насыщение уловом краба ловушек, как оснащённых селективными «окнами», так и без них, показало обратную зависимость. То есть, с увеличением продолжительности застоя улов ловушек снижается. Практически во всех случаях коэффициент корреляции был отрицательный (табл. 4).

Таблица 3. Результаты уловов ловушек с разным размером диаметром селективных «окон»

Table 3. Catches of pots with various sizes of escape selective «windows»

Диаметр селективных «окон», мм	Количество измеренных особей, экз.	Средний размер карапакса, мм	Ошибка средней
110	544	107,77	0,67
120	590	113,05	0,8
125	1566	126,86	0,56
135	3966	131,51	0,37
145	3231	133,67	0,44
155	2454	134,7	0,55
165	976	140,48	0,84
Без «окон»	6392	118,32	0,28
Всего	19719	—	

Таблица 4. Улов краба на ловушку в зависимости от продолжительности застоя ловушек

Table 4. Crab catches per pot vs. trap setting time

Застой, сут.	Улов краба на ловушку, экз./лов.							
	Окно, 110 мм	Окно, 120 мм	Окно, 125 мм	Окно, 135 мм	Окно, 145 мм	Окно, 155 мм	Окно, 165 мм	Без окон
1,00	—	—	34,50	35,00	29,00	28,50	—	59,00
2,00	63,33	44,00	41,62	33,93	26,03	20,86	15,22	45,57
3,00	42,50	47,40	46,57	37,80	27,74	20,52	13,30	64,45
4,00	32,67	47,00	41,33	25,31	19,29	18,64	11,00	66,64
5,00	25,00	32,00	57,00	29,14	40,14	39,71	24,00	56,00

Застой, сут.	Улов краба на ловушку, экз./лов.							
	Окно, 110 мм	Окно, 120 мм	Окно, 125 мм	Окно, 135 мм	Окно, 145 мм	Окно, 155 мм	Окно, 165 мм	Без окон
6,00	30,00	20,00	29,00	33,25	18,50	13,50	13,50	34,33
7,00	—	—	—	33,20	32,00	19,25	26,50	48,20
9,00	0,00	0,00	37,00	18,00	4,00	15,00	0,00	67,00
14,00	31,00	28,00	0,00	12,00	14,00	5,00	0,00	69,00
Корреляция	-0,66	-0,60	-0,49	-0,51	-0,52	-0,52	-0,69	-0,54

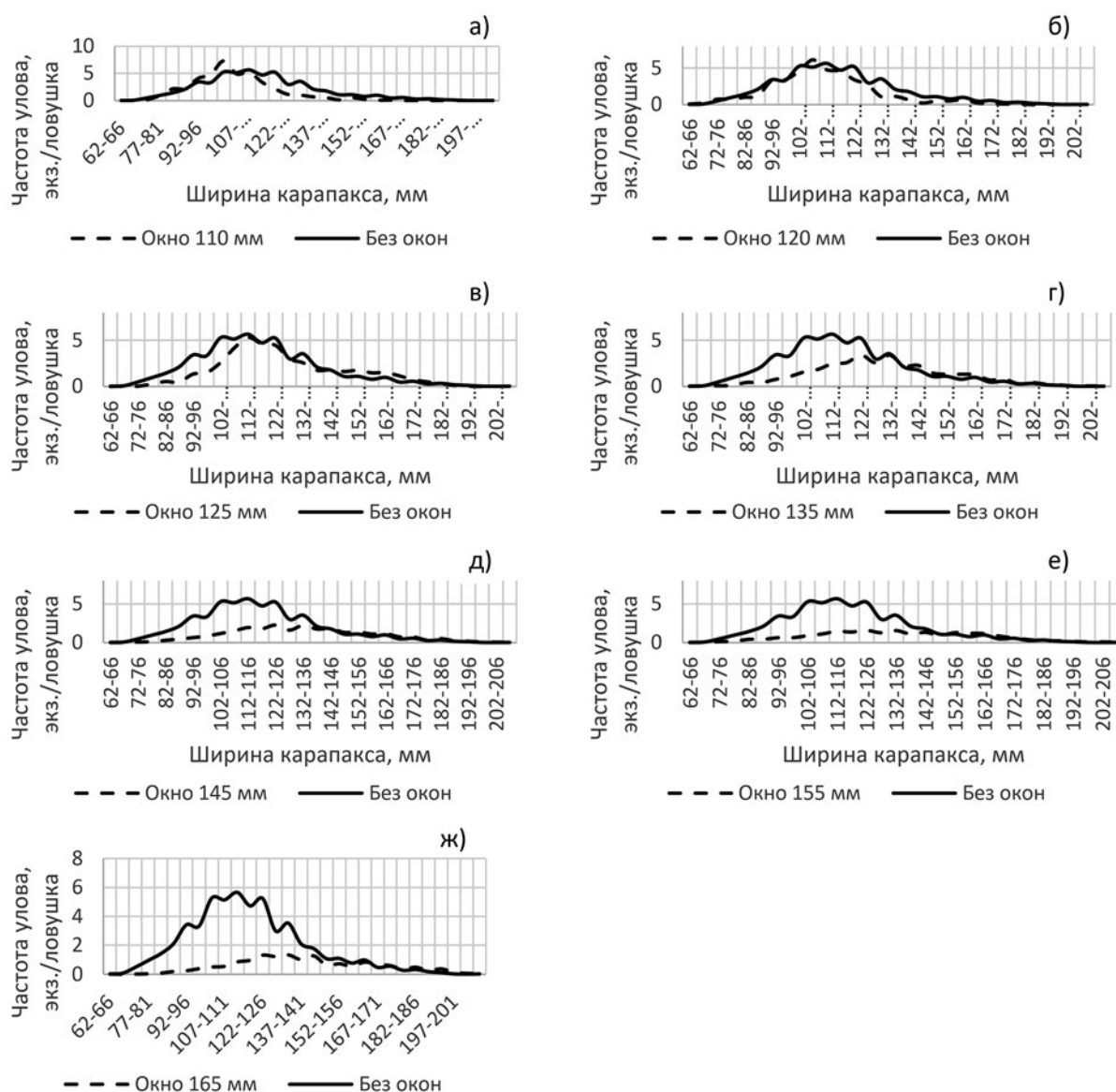


Рис. 4. Размерный состав приведённых уловов (на 1 ловушку) экспериментальных и стандартных ловушек без «окон»: а) ловушки с «окнами» Ø110 мм; б) ловушки с «окнами» Ø120 мм; в) ловушки с «окнами» Ø125 мм; г) ловушки с «окнами» Ø135 мм; д) ловушки с «окнами» Ø145 мм; е) ловушки с «окнами» Ø155 мм; ж) ловушки с «окнами» Ø165 мм

Fig. 4. Size composition of the above catches (per pot) for windowed and windowless pots: а) pots with 110 mm «windows»; б) pots with 120 mm «windows»; в) pots with 125 mm «windows»; г) pots with 135 mm «windows»; д) pots with 145 mm «windows»; е) pots with 155 mm «windows»; ж) pots with 165 mm «windows»

В свою очередь, изменение средней ширины карапакса краба в уловах ловушек, оснащённых селективными «окнами», в основном показало увеличение улова. В случаях наблюдения корреляционной связи коэффициент корреляции был положительный (табл. 5). Так, в уловах ловушек, оснащённых «окнами» с размером 110, 120, 145 и 155 мм, коэффициенты корреляции были положительными. Разница в уловах этих однотипных ловушек достигала более 60% при разной продолжительности застоя. Обратная закономерность наблюдалась в стандартной (контрольной) ловушке. В ловушке без селективных «окон» с увеличением продолжительности застоя (лова) средний размер ширины карапакса в улове устойчиво уменьшался — коэф-

фициент корреляции — 0,86. В ловушках с «окнами» размером 125, 135 и 165 мм корреляционная связь отсутствовала, вероятно по причине влияния неучтённых факторов.

Результаты эксперимента показали, что максимальное насыщение ловушек имеет место на третьи-четвертые сутки застоя ловушек без селективных «окон» и на четвертые-пятые сутки в ловушках с селективными «окнами» (см. табл. 4, рис. 5). При этом в ловушках с селективными «окнами» наблюдается положительная корреляционная связь увеличения среднего размера краба в уловах с продолжительностью застоя, а в ловушках без «окон» эта связь устойчиво отрицательная, так как в этом случае коэффициент корреляции равен — 0,86 (см. табл. 5).

Таблица 5. Средний размер краба в уловах в зависимости от продолжительности застоя ловушек

Table 5. Average crab size vs. Pot setting time

Застой, сут.	Окно, 110 мм		Окно, 120 мм		Окно, 125 мм		Окно, 135 мм		Окно, 145 мм	
	Средняя ширина карапакса, мм	Ошибка средней	Средняя ширина карапакса, мм	Ошибка средней	Средняя ширина карапакса, мм	Ошибка средней	Средняя ширина карапакса, мм	Ошибка средней	Средняя ширина карапакса, мм	Ошибка средней
1,00	—	—	—	—	127,06	2,29	123,53	2,52	130,64	3,21
2,00	105,29	1,17	107,28	1,46	130,04	0,98	135,45	0,52	135,35	0,64
3,00	106,94	1,05	112,93	1,30	128,46	0,87	131,42	0,70	133,67	0,92
4,00	106,43	1,49	112,93	1,49	118,16	1,81	121,81	1,10	128,66	1,43
5,00	114,96	3,13	116,69	3,04	113,23	1,83	129,62	1,55	132,31	1,21
6,00	118,47	3,81	122,70	3,26	119,07	3,05	125,54	2,12	144,68	2,82
7,00	—	—	—	—	—	—	114,72	1,81	122,77	2,06
9,00	—	—	—	—	129,05	23,83	148,94	5,67	163,25	2,22
14,00	115,61	11,80	130,82	19,14	—	—	133,25	3,99	147,00	5,57
Корреляция	0,63	—	0,94	—	-0,19	—	0,28	—	0,55	—

Таблица 5. (Продолжение). Средний размер краба в уловах в зависимости от продолжительности застоя ловушек

Table 5. (Continuation). Average crab size vs. Pot setting time

Застой, сут.	Окно, 155 мм		Окно, 165 мм		Без окон	
	Средняя ширина карапакса, мм	Ошибка средней	Средняя ширина карапакса, мм	Ошибка средней	Средняя ширина карапакса, мм	Ошибка средней
1,00	133,81	3,56	—	—	125,43	2,23
2,00	135,48	0,79	142,49	0,99	125,97	0,46
3,00	135,67	1,20	146,93	1,93	117,29	0,49
4,00	126,88	1,86	128,91	3,24	110,35	0,61
5,00	132,72	1,31	156,91	2,51	112,46	0,95
6,00	141,20	3,40	165,48	3,62	107,26	1,79
7,00	126,70	3,03	108,01	1,80	102,15	0,81
9,00	141,20	7,52	—	—	103,91	2,41
14,00	149,80	8,15	—	—	101,07	1,62
Коррелл.	0,65	—	-0,23	—	-0,86	—

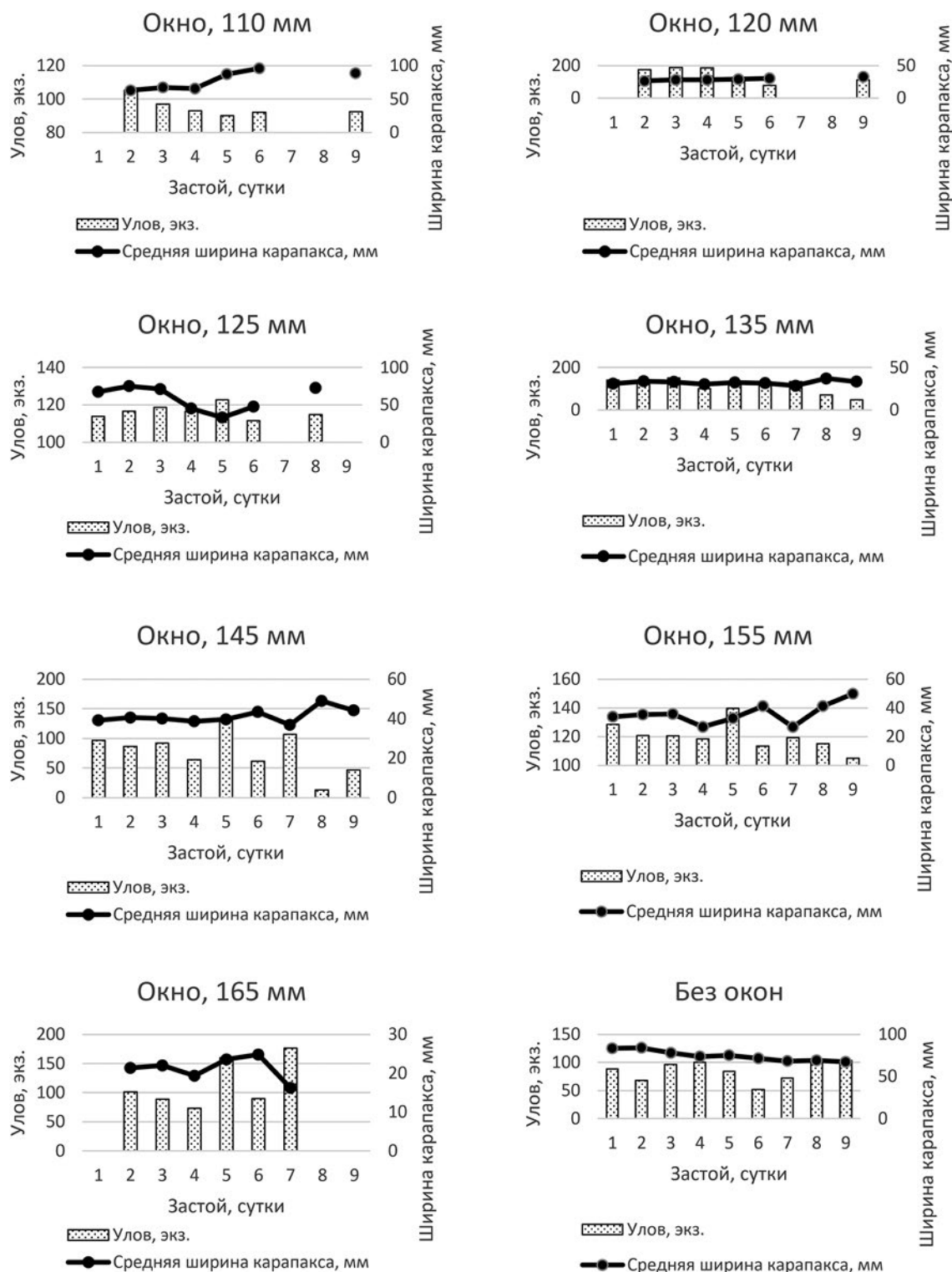


Рис. 5. Средний размер карапакса краба в улове и улов на ловушку с разным размером селективных «окон» при различной продолжительности застоя ловушечных порядков

Fig. 5. Average crab carapace size per catch. Catch per pot with various window size vs. Trap lines setting time

Оценка уловов экспериментальными и контрольными ловушками в районе проведения эксперимента не показала значимых зависимостей величины уловов от глубины лова. Так, лов вёлся в диапазоне глу-

бин от 106 до 255 м. При этом самый большой коэффициент корреляции величины улова от глубины лова был равен 0,57 для ловушек, оснащённых селективными «окнами» диаметром 165 мм, что показывает

слабую взаимосвязь между глубиной лова и величиной улова (табл. 6).

Наиболее значимый коэффициент корреляции среднего размера ширины карапакса крабов в улове и глубины лова также был у ловушек с «окнами» диаметром 165 мм, коэффициент равен $-0,62$. В остальных случаях корреляционные связи отсутствовали

(табл. 7). К примеру, в уловах контрольных ловушек коэффициент корреляции составил $-0,02$, что показывает отсутствие какой-либо зависимости величины и размерного состава уловов с глубиной лова в районе во время проведения эксперимента по оценке селективности ловушек, оснащённых селективными «окнами» выхода (рис. 6).

Таблица 6. Величина улова краба на ловушку в зависимости от глубины лова ловушек

Table 6. Catch per pot vs. pot depth

Глубина, м	Величина улова краба на ловушку, экз./лов							
	Окно, 110 мм	Окно, 120 мм	Окно, 125 мм	Окно, 135 мм	Окно, 145 мм	Окно, 155 мм	Окно, 165 мм	Без окон
106–115	–	–	47,50	37,76	30,54	24,19	–	76,77
116–125	41,85	38,54	33,17	26,33	22,05	19,45	–	62,00
126–135	–	89,00	33,00	28,88	21,00	17,29	1,00	73,33
146–155	–	–	–	39,40	24,00	13,20	19,40	25,20
156–165	–	–	–	29,17	18,50	12,00	15,60	30,40
166–175	–	–	–	52,00	33,00	16,00	21,00	56,33
176–185	–	–	–	38,50	29,50	18,25	19,75	18,50
186–195	–	–	–	43,30	30,70	13,70	8,50	48,56
196–205	–	–	–	29,46	21,08	20,64	14,58	36,58
216–225	–	–	–	34,13	34,67	35,07	15,21	33,00
226–235	–	–	–	22,33	14,86	16,50	17,00	43,67
236–245	–	–	–	46,00	27,75	32,00	18,25	82,75
246–255	–	–	–	14,00	42,00	17,00	69,00	15,00
Корреляция	–	–	–	-0,15	0,42	0,45	0,57	-0,21

Таблица 7. Средняя ширина карапакса краба улова ловушек в зависимости от глубины лова ловушек

Table 7. Average crab carapace size vs. pot depth

Глубина, м	Окно, 110 мм		Окно, 120 мм		Окно, 125 мм		Окно, 135 мм	
	Средняя ширина карапакса, мм	Ошибка средней	Средняя ширина карапакса, мм	Ошибка средней	Средняя ширина карапакса, мм	Ошибка средней	Средняя ширина карапакса, мм	Ошибка средней
106–115	–	–	–	–	129,50	0,63	132,08	0,80
116–125	107,77	0,67	112,23	0,84	120,08	1,52	116,76	0,97
126–135	–	–	–	2,16	112,40	1,57	119,26	1,34
146–155	–	–	–	–	–	–	140,19	1,29
156–165	–	–	–	–	–	–	136,35	1,37
166–175	–	–	–	–	–	–	135,19	3,27
176–185	–	–	–	–	–	–	145,14	1,71
186–195	–	–	–	–	–	–	136,42	1,06
196–205	–	–	–	–	–	–	139,48	1,10
216–225	–	–	–	–	–	–	139,48	0,80
226–235	–	–	–	–	–	–	134,19	1,75
236–245	–	–	–	–	–	–	111,51	1,25
246–255	–	–	–	–	–	–	106,21	2,20
Корреляция	–	–	–	–	–	–	-0,18	–

Таблица 7 (продолжение). Средняя ширина карапакса краба улова ловушек в зависимости от глубины лова ловушек
Table 7 (continued). Average crab carapace size vs. pot depth

Глубина, м	Окно, 145 мм		Окно, 155 мм		Окно, 165 мм		Без окон	
	Средняя ширина карапакса, мм	Ошибка средней	Средняя ширина карапакса, мм	Ошибка средней	Средняя ширина карапакса, мм	Ошибка средней	Средняя ширина карапакса, мм	Ошибка средней
106–115	135,40	0,93	137,78	1,11	–	–	121,01	0,52
116–125	118,16	1,18	113,07	1,37	–	–	103,86	0,48
126–135	120,29	1,91	118,11	2,41	144,00	–	105,11	0,67
146–155	143,11	1,97	147,20	3,11	150,24	2,25	138,75	1,90
156–165	141,34	2,10	150,65	3,02	147,62	2,86	136,64	1,75
166–175	129,96	1,80	113,00	2,05	151,71	5,47	128,38	1,24
176–185	147,37	2,14	147,64	2,88	149,91	2,69	129,15	2,19
186–195	141,24	1,25	140,48	1,96	137,24	2,29	129,17	0,92
196–205	138,93	1,49	141,17	1,33	144,41	1,78	130,05	0,97
216–225	139,10	0,85	142,09	0,94	140,97	1,58	132,10	0,77
226–235	146,96	2,29	146,41	1,94	156,27	2,70	125,46	1,23
236–245	110,72	1,61	115,92	1,41	114,29	2,24	108,86	0,75
246–255	119,38	2,13	114,65	2,96	105,28	1,71	103,40	2,69
Корреляция	-0,03	–	-0,001	–	-0,62	–	-0,02	–

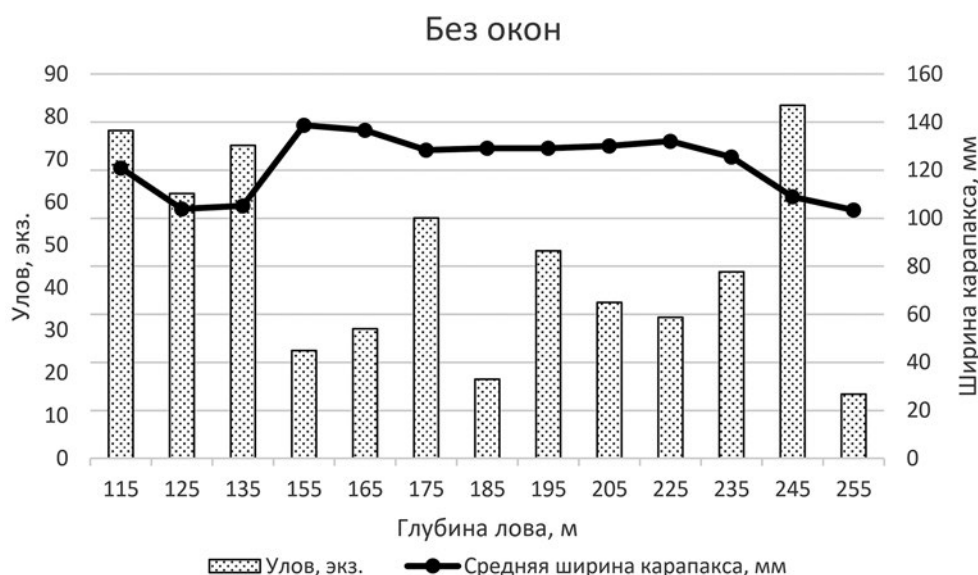


Рис. 6. Улов на ловушку и средний размер ширины карапакса краба в уловах стандартной (контрольной) ловушки в зависимости от глубины лова

Fig. 6. Catch per pot and average crab carapace size for standard (test) pots vs. pot depth

Взаимосвязь между диаметром селективного «окна» в крабовой ловушке и относительным количеством краба промыслового размера установлена методом расчёта тесноты связи (корреляции) Фехнера [Громыко, 2005]. Для расчёта использовались следующие данные: диаметр селективного «окна», количество наблюдений, средний размер карапакса, процент краба промыслового размера в улове. Средний

диаметр селективных «окон» ($\bar{d}_{cp}$) при проведении экспериментов составил 136,4 мм. Доля краба промыслового размера ($\bar{u}_{cp}$) для всех ловушек в среднем составила 47,3%.

Ниже приведён расчёт тесноты связи (корреляции) улова краба промыслового размера с диаметром селективных «окон» крабовых ловушек.

Проведено сравнение поведения отклонений индивидуальных значений каждого признака от своих средних величин — диаметра селективного «окна» и доли краба с шириной карапакса более 150 мм в улове.

При анализе данных учитываются не величины отклонений, а их знаки «+» или «-» (см. табл. 8 и 9).

Рассматриваются все пары знаков и подсчитывается число их совпадений «С» и не совпадений «Н». Коэффициент Фехнера будет определяться как отношение разности чисел пар совпадений и не совпадений знаков к их сумме. Исходя из полученных данных, выявлено число совпадений С=6 и несовпадений Н=1 как в соотношении долей промыслового краба, так и в соотношении средней ширины карапакса краба в улове в зависимости от диаметра селективного «окна». Используя полученные данные, можно определить коэффициент Фехнера (K_ϕ), который вычисляется по формуле:

$$K_\phi = \frac{\sum H - \sum C}{\sum H + \sum C} = \frac{(6 - 1)}{(6 + 1)} = \frac{5}{7} = 0,71, \quad (1)$$

где С — число совпадений отклонений индивидуального признака; Н — число несовпадений индивидуального признака.

Таким образом, для ловушек с селективными «окнами» имеется прямая корреляционная связь с сильной зависимостью по коэффициенту Фехнера $K_\phi=0,71$, что означает устойчивое увеличение доли промыслового краба и средней ширины карапакса краба в улове при увеличении диаметра селективного «окна» в ловушках.

Исходя из этих взаимосвязей, также определяется сильная линейная зависимость между размером селективного «окна» ловушки со средним размером ширины карапакса краба (величина достоверности аппроксимации $R^2=0,85$), а также доли промыслового краба в улове (величина достоверности аппроксимации $R^2=0,71$) (рис. 7).

ОБСУЖДЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

Распределение размерной частоты (ширины карапакса) крабов в уловах показало, что диапазон размеров крабов, удерживаемых ловушками с выходными

Таблица 8. Доля промыслового краба в зависимости от диаметра селективного «окна»

Table 8. Percentage of legal-sized crab vs. escape selective «window» size

№	Диаметр селективного «окна», мм d_i	Доля краба промыслового размера в улове, % y_i	Знаки отклонений от средней величины	
			$\bar{d}_{\text{ср.}} - d_i$	$\bar{y}_{\text{ср.}} - y_i$
1	110	2,6	+	+
2	120	12,7	+	+
3	125	37,5	+	+
4	135	67,2	+	-
5	145	72,5	-	-
6	155	76,8	-	-
7	165	61,5	-	-
Среднее значение	136,4	47,3	-	-

Таблица 9. Средняя ширина карапакса краба в улове в зависимости от диаметра селективного «окна»

Table 9. Average crab carapace size vs. escape «window» size

№	Диаметр селективного «окна», мм d_i	Доля краба промыслового размера в улове, % y_i	Знаки отклонений от средней величины	
			$\bar{d}_{\text{ср.}} - d_i$	$\bar{y}_{\text{ср.}} - y_i$
1	110	107,77	+	+
2	120	113,05	+	+
3	125	126,86	+	+
4	135	131,32	+	-
5	145	133,41	-	-
6	155	134,19	-	-
7	165	140,48	-	-
Среднее значение	136,4	126,7		

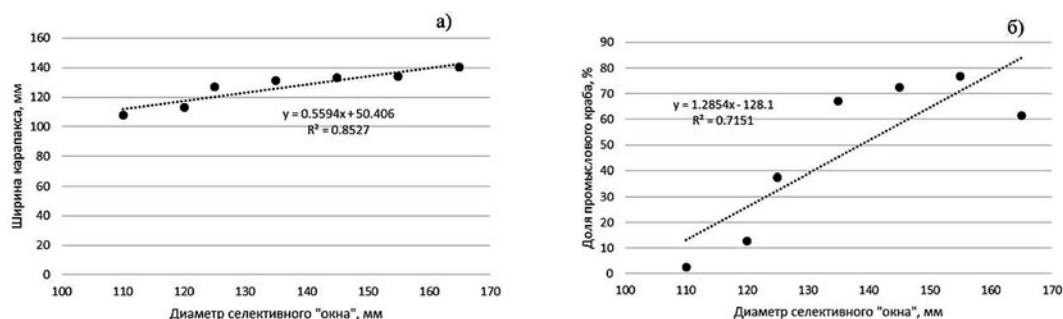


Рис. 7. Зависимость размера диаметра селективного «окна» ловушки со средним размером ширины карапакса краба (а) и доли промыслового краба (б) в улове ловушки

Fig. 7. Escape selectivity «window» size vs. average-sized crab carapace (a) vs. percentage of legal-size crab caught by pots (b)

«окнами» разного диаметра, был одинаковым, хотя относительная численность по размерным группам различалась между ловушками. Были обнаружены существенные различия доли промысловых и маломерных крабов в уловах, а также средних размеров краба в уловах ловушек, оснащённых и не оснащённых «окнами».

Снижение прилова маломерных особей при вылове общего допустимого улова может принести существенные выгоды для рыболовства в целом. Так, во-первых, мгновенная выгода может выразиться в возрастании вылова краба промыслового размера из-за снижения заполнения ловушек маломерными особями [Guillory, Merrell, 1993], и последующая выгода – благодаря снижению промысловой и неучтённой смертности маломерных особей крабов. Ранее исследователями было показано, что применение выпускных отверстий («окон») в ловушках для снижения прилова маломерных крабов приводит к увеличению вылова крабов промыслового размера [Krouse, Thomas, 1975; Fogarty, Borden, 1980; Brown, 1982; Guillory, Merrell, 1993]. Применение селективных «окон» существенно снизит повреждения и стресс маломерного краба, которым он подвергается в процессе лова и его сортировки на борту судна. В то же время, исследователями отмечено, что травмы могут привести к меньшему приросту линьки у различных декапод [Van Engel, 1958;]. К тому же, физиологический стресс, обезвоживание и повреждение жабр из-за воздействия воздуха во время выбраковки на борту могут привести к отсроченной смертности маломерных особей крабов.

Во-вторых, снизится смертность от так называемого «призрачного промысла», т.е. лова и удержания крабов потерянными ловушками, из-за сокращения в их уловах маломерных крабов. Известно, что на ловушечном промысле происходят значительные потери целых ловушечных порядков. Ранее исследователями также было отмечено, что смертность в ловушках, ос-

нащённых дополнительными селективными «окнами», была примерно в три раза меньше, чем в ловушках, не оснащённых такими «окнами», из-за сокращения улова маломерного краба [Arcement, Guillory, 1993].

И, в-третьих, эффективность промысла у рыбаков возрастёт из-за снижения времени, необходимого на сортировку уловов ловушек.

ВЫВОДЫ

1. Проведённые исследования показали эффективность применения селективных «окон» для уменьшения прилова краба непромыслового размера. При использовании в конструкции ловушек селективных «окон» значительно сокращается время на сортировку улова. За счёт отсева краба непромыслового размера из ловушек через селективные «окна» во время их застоя уменьшается количество маломерных особей, подвергнувшихся неблагоприятным факторам, вызванных поднятием краба на палубу и его последующей сортировкой.

2. Испытания выявили прямую зависимость средней ширины карапакса краба в улове ловушек от диаметра селективного «окна», что подтверждает возможность снижения прилова маломерных особей при использовании в ловушках селективных «окон» заданного диаметра.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов.

Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

Финансирование

Работа выполнена в рамках госзадания «Разработка ресурсосберегающих экологически безопасных технологий добычи (вылова) водных биоресурсов».

ЛИТЕРАТУРА

- Громыко Г.Л. 2005. Теория статистики. М.: ИНФРА-М. 476 с.
- Беренбойм Б.И., Анисимова Н.А., Бакай Ю.И., Баканев С.В., Бойцов В.Д., Борисов В.В., Воробьева Н.К., Жак Ю.Е., Кондратюк Ю.А., Лисовский С.Ф., Лебская Т.К., Манушин И.Е., Матюшкин В.Б., Моисеев С.И., Мухин В.А., Новиков В.Ю., Павлов В.А., Переладов М.В., Пинчуков М.А., Русяев С.М., Сенников А.М., Степаненко В.В., Толкачева В.Ф., Ушакова М.В., Филина Е.А. 2003. Камчатский краб в Баренцевом море. Мурманск: ПИНРО. 382 с.
- Метелёв Е.А. 2009. К вопросу о смертности крабов при ловушечном промысле // Сб. научн. тр. МагаданНИРО. Вып. 3. Магадан: МагаданНИРО. С. 173–181.
- Arcement, G., Guillory V. 1993. Ghost fishing in vented and unvented blue crab traps // Proc. La. Acad. Sci. 56:1–7.
- Brown C.G. 1982. The effect of escape gaps on trap selectivity in the United Kingdom crab (*Cancer pagurus* L.) and lobster (*Homarus gammarus* [L.]) fisheries // J. Cons. Cons. Int. Explor. Mer 40: 127–134.
- Fogarty M.J., Borden D.V. 1980. Effects of trap venting in gear selectivity in the inshore Rhode Island American lobster, *Homarus americanus*, fishery // Fish. Bull. 77:925933
- Guillory, V., Merrell J. 1993. An evaluation of escape rings in blue crab traps // La. Dep. Wildl. Fish., Tech. Bull. 44, 29 p.
- Urban J.D. 2015. Discard mortality rates in the Bering Sea snow crab, *Chionoecetes opilio*, fishery // ICES J. of Marine Science. 72(5). 1525–1529. doi:10.1093/icesjms/fsv004
- Krouse J.S., Thomas J.C. 1975. Effects of trap selectivity and some population parameters on size composition of the American lobster, *Homarus americanus*, catch along the Maine coast // Fish. Bull. 73:862–871.
- Van Engel W.A. 1958. The blue crab and its fishery in Chesapeake Bay. Part 1. Reproduction, early development, growth, and migration // Commer. Fish. Rev. 29(6):6–17.
- Kondratyuk Y.A., Lisovskiy S.F., Lebskaya T.K., Manyushin I.E., Matyushkin V.B., Moiseev S.I., Mukhin V.A., Novikov V.Y., Pavlov V.A., Pereladov M.V., Pinchukov M.A., Rusyaev S.M., Sennikov A. M., Stepanenko V. V., Tolkaacheva V. F., Ushakova M.V., Filina E.A. 2003. King crab in the Barents Sea. Murmansk: PINRO. 382 p. (in Russian).
- Metelyov E.A. 2009. To the question of crab mortality in trap fisheries // Collection papers of MagadanNIIRO. Magadan: MagadanNIIRO. N. 3. P. 173–181. (in Russian).
- Arcement, G., Guillory V. 1993. Ghost fishing in vented and unvented blue crab traps // Proc. La. Acad. Sci. 56:1–7.
- Brown C.G. 1982. The effect of escape gaps on trap selectivity in the United Kingdom crab (*Cancer pagurus* L.) and lobster (*Homarus gammarus* [L.]) fisheries // J. Cons. Cons. Int. Explor. Mer 40: 127–134.
- Fogarty M.J., Borden D.V. 1980. Effects of trap venting in gear selectivity in the inshore Rhode Island American lobster, *Homarus americanus*, fishery // Fish. Bull. 77:925933
- Guillory, V., Merrell J. 1993. An evaluation of escape rings in blue crab traps // La. Dep. Wildl. Fish., Tech. Bull. 44, 29 p.
- Urban J.D. 2015. Discard mortality rates in the Bering Sea snow crab, *Chionoecetes opilio*, fishery // ICES J. of Marine Science. 72(5). 1525–1529. doi:10.1093/icesjms/fsv004
- Krouse J.S., Thomas J.C. 1975. Effects of trap selectivity and some population parameters on size composition of the American lobster, *Homarus americanus*, catch along the Maine coast // Fish. Bull. 73:862–871.
- Van Engel W.A. 1958. The blue crab and its fishery in Chesapeake Bay. Part 1. Reproduction, early development, growth, and migration // Commer. Fish. Rev. 29(6):6–17.

REFERENCES

- Gromyko G.L. 2005. Statistical Theory. M.: INFRA-M. 476 p. (in Russian).
- Berenbojm B. I., Anisimova N. A., Bakay Y. I., Bakanev S. V., Boytsov V. D., Borisov V. V., Vorobyeva N. K., Zhak Y. E.,

Поступила в редакцию 27.03.2020 г.
Принята после рецензии 09.12.2021 г.

Технология переработки водных биоресурсов

Морские бурые водоросли — перспективный источник БАВ для медицинского, фармацевтического и пищевого применения

А.В. Подкорытова, А.Н. Рощина

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

Целью работы является изучение состава и свойств биологически активных веществ (БАВ) бурых водорослей. **Результат:** представлен обзор данных, опубликованных зарубежными и российскими авторами по составу и свойствам БАВ бурых водорослей, а также данные авторов статьи о БАВ водорослей Белого и Баренцева морей. Бурые водоросли семейств Laminariales и Fucales (Phaeophyceae) рассматриваются как источники природных БАВ.

Новизна: приведены новые данные о том, что сульфатированные полисахариды — фукоиданы, а также альгинаты, полифенолы и другие вещества, обладающие разнообразными биоактивными свойствами, с антивирусным и антикоагулянтным потенциалами, положительно влияют на здоровье человека.

Практическая значимость: показаны рекомендации по использованию водорослей непосредственно в пищу, для получения лечебно-профилактической, медицинской продукции, фармацевтических средств, СПП, ФПП, БАД к пище. Рекомендовано их возможное применение как средство для лечения рака легких и других опухолей, диабета, а также в комплексной терапии гриппа и COVID-19.

Используемые методы: данные по составу и свойствам биологически активных веществ (БАВ) бурых водорослей приведены с привлечением обзора зарубежных и отечественных опубликованных работ и результатов собственных исследований. При проведении исследований были использованы современные инструментальные методы.

Ключевые слова: бурые водоросли, фукоиданы, полифенолы, альгинаты, свойства, получение, применение.

Marine brown algae – perspective source of BAS for medical, pharmaceutical and food use

Antonina V. Podkorytova, Anna N. Roshchina

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

The aim: of this work is to study the composition and properties of brown algae biologically active substances (BAS).

Result: A review of the data published by foreign and Russian authors on the composition and properties of brown algae BAS, as well as the data of the article authors on BAS of algae from White and Barents Seas, is presented. Brown algae of families Laminariales and Fucales (Phaeophyceae) are considered sources of natural biologically active substances.

Novelty: New data are presented that sulfated polysaccharides — fucoidans, as well as alginates, polyphenols and other substances with various bioactive properties, with antiviral and anticoagulant potentials, have a positive effect on human health.

Practical significance: Recommendations for the use of algae directly in food, for obtaining therapeutic and prophylactic, medical products, pharmaceuticals, SFP, FFP, dietary supplements are shown. Their possible use is recommended as a remedy for the treatment of lung cancer and other tumors, diabetes and in the complex therapy of influenza and COVID-19.

Methods used: Data on the composition and properties of biologically active substances (BAS) of brown algae are given with the involvement of a review of foreign and domestic, published works and the results of our own research. During the research, modern instrumental methods were used.

Keywords: brown algae, fucoidans, polyphenols, alginates, properties, production, application.

ВВЕДЕНИЕ

Морские бурые водоросли (Phaeophyceae) характеризуются уникальным составом природных биоактивных соединений, которые широко востребованы в различных отраслях, в то числе в пищевой и медицинской. Бурые водоросли, особенно семейства Laminariaceae, относятся к пищевым и используются несколько столетий для приготовления огромного ко-

личества продуктов, входящих в ежедневный рацион населения стран Азиатско-Тихоокеанского региона. В настоящее время они используются в пищу практически по всему миру. В связи с получением в последние годы новых данных о свойствах БАВ водорослей интерес к ним значительно возрос и расширились области их применения [Боголицын и др., 2018; Облучинская, Захарова, 2020]. Наиболее изученными

компонентами морских водорослей с точки зрения их медицинского и лечебно-профилактического применения являются полисахариды и некоторые другие органические соединения. Основные БАВ бурых водорослей — это углеводы, такие как альгиновая кислота, фукоидан, ламинаран, маннит, а также азотсодержащие вещества (белки), липиды, комплекс минеральных веществ и йод. В состав углеводов бурых водорослей входит клетчатка, содержание которой по разным данным колеблется от 4 до 21%. В химическом составе бурых водорослей содержатся полифенолы, стерины, комплекс пигментов, витамины [Репина, 2005; Коровкина, 2007; Облучинская, 2021].

БАВ бурых водорослей находятся в их тканях в виде органических и минеральных соединений, которые экстрагируются из водорослей при соблюдении различных условий. В связи с этим бурые водоросли являются перспективным сырьём для получения всего комплекса БАВ, включая йодсодержащие компоненты, маннит, фукоидан, альгинат и другие. При этом обязательно соблюдение

порядка экстрагирования и последовательного выделения практически всех БАВ без их потерь. Очевидна возможность получения спирто-, водо-, кислото- и щелочерастворимых БАВ. Очищенные от примесей и сконцентрированные экстракты или выделенные химически чистые компоненты фукуса и ламинарии могут быть использованы при создании биологически активных добавок (БАД), специализированных пищевых продуктов (СПП), функциональных пищевых продуктов (ФПП), а также в качестве пищевых добавок, основы или компонентов лекарственных средств, в составе косметических кремов, сывороток и масок для лица и тела. При применении косметических средств на основе фукуса и ламинарии происходит стимуляция кровообращения, минерализация, дренаж, устранение отёчности, выведение токсинов, глубокое увлажнение, нормализация работы сальных желёз, улучшается цвет и состояние кожи [Ariedea et al., 2017].

Сводные данные по составу и свойствам БАВ различных видов бурых водорослей (Phaeophyceae) представлены в табл. 6.

Таблица 1. Состав и свойства БАВ бурых водорослей (Phaeophyceae)

Table 1. Composition and properties of biologically active substances of brown algae (Phaeophyceae)

Виды водорослей	Наименования БАВ	Свойства	Источник
<i>Phaeophyceae</i>	Йод (I)	Источник органического и минерального йода	Репина, 2005; Salvador et al., 2007; Подкорытова и др., 2020
<i>Fucus vesiculosus</i> , <i>Ascophyllum nodosum</i> ,	Альгиновая кислота Альгинат натрия Альгинат калия Альгинат магния	Абсорбирующие радионуклиды и тяжелые металлы, кровоостанавливающие, ранозаживляющие, обволакивающие средства, регулирующие артериальное давление и сердечные ритмы, стимулирующие лимфопротекцию, фагоцитоз, источник пищевых волокон, антималярийное, регенерирующее, антиаллергенное, антацидное действие, источник калия, снижает синдром дискинезии желчевыводящих путей, нормализует перистальтику кишечника, источник магния, стимулирует обменные процессы в мышечной ткани и сердечной мышце, антилипемическое действие, смягчающие и омолаживающие кожу средства	Корзун и др., 1992;1993; Подкорытова и др., 1992; Репина, 2005; Облучинская, 2021; Штильман, Подкорытова и др., 2015; Ariedea et al., 2017; Подкорытова, Котельникова, Шашкина, 2020
<i>Saccharina latissima</i> , <i>Laminaria digitata</i> , <i>Saccharina japonica</i> , <i>Saccharina angustata</i> , <i>Macrocystis pyrifera</i> , <i>Undaria pinnatifida</i>	Альгинат кальция Маннит (низко-молекулярный углевод) Ламинаран -низкомолекулярный β-1,3-1,6-глюкан	Адсорбирующее, антиаллергенное действие, источник кальция, пищевых волокон и альгиновой кислоты, нормализующее перистальтику кишечника. Диуретик, заменитель сахара, антисептик Антивирусные, иммуностимулирующие, антилипемические.	Подкорытова, 2005; Облучинская, 2005; Штильман, Подкорытова и др., 2015 Подкорытова, 2019 Усольцева и др., 2019

Виды водорослей	Наименования БАВ	Свойства	Источник
<i>Durvillaea potatorum</i> , <i>Seirococcus axillaris</i> , <i>Ecklonia radiata</i>	Липидный концентрат (стерины, полиненасыщенные жирные кислоты)	антиканцерогенные, противоопухолевые, антиметастатические	Хотимченко, 2003
<i>Ascophyllum nodosum</i> ,	Фукоидан (высокомолекулярный сульфатированный полисахарид)	Противоопухолевые, противовоспалительные, антипролиферативные, радиопротекторные, антитромбиновые	Усов, Билан, 2009; Усов, 2018
		Антикоагулянтные, антитромбиновые, антибактериальные, антивирусные, иммуномодулирующие, контрацептивные	Добровольский, Титаева, 2013; Беседнова и др., 2015; Беседнова и др., 2021; Kordjazi, 2019; Ушакова, 2008; Bo Li et. al, 2008; Ayrapetyan et al., 2021
<i>Fucus evanescens</i> <i>F. distichus</i> <i>F. serratus</i>	Пигментный комплекс (хлорофилл, и фуко-ксантин), полифенолы	Гемостимулирующие, противовоспалительные, регенеративные, ранозаживляющие, бактерицидные, антиоксидантные, противовирусные свойства	Коровкина и др., 2007; Боголицин и др., 2018; Облучинская, 2021; Аминина и др., 2020; Ariedea et al., 2017

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКИ

В качестве объектов исследований использовали промысловые бурые водоросли порядка *Fucales*: *Fucus vesiculosus* (фукус пузырчатый), *Fucus distichus* (фукус двусторонний), *Ascophyllum nodosum* (аскофиллум узловатый), собранных в 2020–2021 гг. на литорали Белого моря во время отлива (Республика Карелия, Кемский район, пос. Рабочеостровск), а также этанольные экстракты. В месте сбора фукусовые водоросли были промыты в морской воде и высушены в естественных условиях. Средние пробы приготовлены по ГОСТ 31413–2010. Содержание пигментов определяли по методикам, изложенным в [Rodriguez-Amaya, 2001; Кудряшов и др., 2011]. Содержание макро- и микроэлементов определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой МС-ИСП и атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой АЭС-ИСП на квадрупольном масс-спектрофотометре Nexion 300D и атомно-эмиссионном спектрофотометре Optima 2000 DV (Perkin Elmer, США). Определение содержания фукоидана в водорослях проводили с применением спектрофотометрического метода [Усов и др., 2001] в ИОХ им. Н.Д. Зелинского РАН. Моносахаридный состав экстрактов определяли методом газо-жидкостной хроматографии (ГЖХ) на хроматографе Hewlett-Packard 5890A, снабженном пламенно-ионизационным детектором и интегралом 3393A, с использованием капиллярной колонки HP Ultra-2 в токе азота при градиенте температуры от 160 °C до

290 °C со скоростью 7 °/мин. Определение массовой доли липидов проводили с использованием метода Сокслета, на автоматическом экстракторе Сокслета фирмы VELD SER148/6 при использовании 2-й программы (растворитель – диэтиловый эфир) и метода Блайя и Дайера. Для определения ЖКС липиды подвергались прямому метилированию с использованием в качестве катализатора хлористого ацетила в метаноле в соответствии с МУК [Подкорытова, Кадникова, 2009], метиловые эфиры жирных кислот анализировали на хроматографе «Кристалл 5000.2» («Хроматэк») в соответствии с ГОСТ 31663 на капиллярной колонке CR-FAME100 мх0,25 ммх 0,2 мкм («Хроматэк»). Идентификацию проводили сравнением со стандартной смесью (Supelco 37 component FAME MIX, каталожный номер Sigma Aldrich CRM47885).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В Европейской части Российской Федерации наиболее богаты промысловыми бурыми водорослями прибрежные зоны Белого и Баренцева морей, где сосредоточены главные запасы ламинариевых – это ламинария сахаристая (*Saccharina latissima* (L.) Lane, Meyers, Druehl et Saund.), ламинария пальчато-расчлененная (*Laminaria digitata* (Huds.) Lamour.) и фукусовых: фукус пузырчатый (*Fucus vesiculosus* L.), фукус двусторонний (*F. distichus* L.), фукус зубчатый (*F. serratus* L.), аскофиллум узловатый (*Ascophyllum nodosum* L.) Le Jolis. В Баренцевом море, кроме перечисленных ламинариевых и фукусовых, из промысловых есть ещё

ламинария северная (*L. hyperborea* (Gunnerus) Foslie) [Глубоковский и др., 2012; Евсеева, 2014].

Видовой состав флоры Баренцева моря представляет аналогичную таковой Северной Атлантики. Наиболее разнообразным по видовому составу макрофитов является Мурманское побережье, где обитают 80 видов бурых водорослей. Белое море также характеризуется обширной флорой и наиболее мощные заросли донных водорослей-макрофитов в Белом море обнаруживаются в прибрежной зоне до глубины 25–30 м. Этому способствуют относительная мелководность моря, подходящий для их прикрепления субстрат (валуны, камни, многочисленные луды и корги), отсутствие сильного волнения, особенно в заливах, достаточная освещённость в поверхностных слоях воды, обилие питательных солей, хорошая аэрация воды [Блинова, 2007].

Активную добычу бурых водорослей проводят, в основном, в прибрежных зонах Белого моря. Однако, несмотря на достаточные промысловые запасы сахарины, ламинарий и фукусов — эти морские растительные ресурсы используются не полностью, а некоторые вообще не добываются. Проблема недоиспользования водорослевого сырья связана, главным образом, с организацией его заготовки и переработки. Промышленная переработка бурых водорослей Белого моря организована на Архангельском водорослевом комбинате (ООО «АВК») в г. Архангельск, где производят альгинаты, маннит, фармацевтическую,

пищевую, косметическую продукцию, биологически активные добавки к пище (БАД), кормовые добавки и агар пищевой из штормовых выбросов анфельции [Подкорытова и др., 2020]. При этом используется не более 1/10 части от рекомендованного вылова бурых водорослей в Белом море [Глубоковский и др., 2012]. В море Баренцевом водоросли в промышленном масштабе не добывают. Таким образом, бурые водоросли Белого и Баренцева морей к настоящему времени остаются недоиспользуемым ресурсом, но могут быть неисчерпаемым источником БАВ для разных отраслей и, в первую очередь, медицинской, фармацевтической и пищевой.

Исследования санитарно-гигиенического состояния водорослей, а также оценка качества сырья показали, что ламинарии и фукусы Белого и Баренцева морей, являются безопасными по микробиологическим показателям и содержанию токсичных элементов, а места сбора экологически чистыми [Подкорытова и др., 2009]. Качество водорослей-макрофитов характеризуется их химическим составом, представленным в табл. 2.

К началу 2000-х гг. из водорослей-макрофитов выделено около 15000 новых БАВ и показана экономическая перспективность их использования [Cardozo, 2007]. В связи с этим морские водоросли-макрофиты стали рассматривать как источники БАВ, положительно влияющие на здоровье человека. Основное внимание уделяется природным БАВ, содержащимся в водо-

Таблица 2. Химический состав промысловых бурых водорослей (Phaeophyceae), произрастающих в Белом и Баренцевом морях РФ

Table 2. Chemical composition of commercial brown algae (Phaeophyceae) growing in the White and Barents Seas of the Russian Federation

Наименование компонента		Семейства, виды			
		Fucaceae		Laminariaceae	
		<i>F. vesiculosus</i>	<i>A. nodosum</i>	<i>S. latissima</i>	<i>L. digitata</i>
Содержание, % сухого вещества					
Углеводы	Альгиновая кислота	15,24–29,00	12,00–33,02	12,00–35,00	16,00–35,00
	Маннит	5,30–12,00	5,00–12,00	20,00–22,10	11,00–23,28
	Фукоидан	13,4–16,5	10,0–11,5	2,40–9,00	1,00–3,00
	Ламинаран	0,50–3,40	0,50–2,70	11,00–16,00	2,00–3,00
	Клетчатка	7,00–10,00	4,32–21,00	5,61–18,00	5,99–14,00
Белок ($N_{\text{общ}} \times 6,25$)		4,31–15,00	4,66–9,00	7,00–18,00	7,00–11,21
Липиды		0,72–3,76	0,42–2,87	0,57–0,90	0,42–1,05
Минеральные вещества		18,00–25,00	17,64–23,72	16,23–35,00	27,03–44,00
Йод		0,02–0,14	0,03–0,11	0,10–0,36	0,10–0,20

Примечание: данные из публикаций [Репина, 2005; Облучинская, 2005; Вафина, 2010]. Значительные колебания в содержании веществ зависят от сезона сбора, семейства и вида водорослей.

рослях, которые могут иметь пищевое, медицинское и фармацевтическое значение, а также использоваться в исследованиях с целью их применения в соответствующих направлениях [Smit, 2004]. В настоящее время полисахариды бурых водорослей, такие как альгиновые кислоты и, особенно, фукоиданы привлекательны в качестве БАД к пище для предотвращения или уменьшения симптомов гриппа и других вирусных респираторных инфекций, в том числе, коронавирусного генеза [Richards et al., 2020; Fitton et al., 2021; Беседнова и др., 2021].

Альгиновая кислота (Alginic acid) – количественно превосходящий, структурообразующий полисахарид бурых водорослей, состоящий из блоков поли-D-манурановой кислоты и поли-L-гулурановой кислоты. Содержание альгиновой кислоты в водорослях колеблется в довольно широких интервалах, однако, наиболее известные пределы от 12 до 35% в зависимости от вида (см. табл. 2), сезона сбора и их места произрастания.

Альгиновые кислоты и их соли (альгинаты) – эффективные природные ионообменники, определяющие механизм избирательной фиксации катионов металлов водорослями. Ионообменные свойства альгиновых кислот и альгинатов сохраняются и в выделенном из водорослей состоянии. Альгинаты используются, как энтеросорбенты, способные выводить из организма тяжёлые металлы, радионуклиды и другие токсины различной этиологии [Рыбалкина и др., 2014]. Реакция ионов двухвалентных металлов (например, кальция) с карбоксильными группами молекулы альгиновой кислоты обеспечивает межмолекулярные взаимодействия в процессах абсорбции металлов и гелеобразования (см. рис. 1).

Способность к абсорбции – связыванию ионными связями катионов, в том числе тяжёлых металлов и радионуклидов, обеспечена наличием в химической структуре альгиновой кислоты функциональной группы – карбоксильной.

Растворимые альгинаты натрия, калия, магния широко используются как обволакивающие и обезболивающие средства, регулирующие кислотность желудочного сока, а также как источники этих микроэлементов. Альгинаты применяются для профилактики и лечения гастроэнтерологических заболеваний, лечения ожоговых ран и поверхностей, трофических язв и др. Порошкообразные альгинаты применяются в качестве адсорбентов экссудатов открытых ран. Значительную роль альгинаты и альгинатсодержащие продукты играют при создании но-

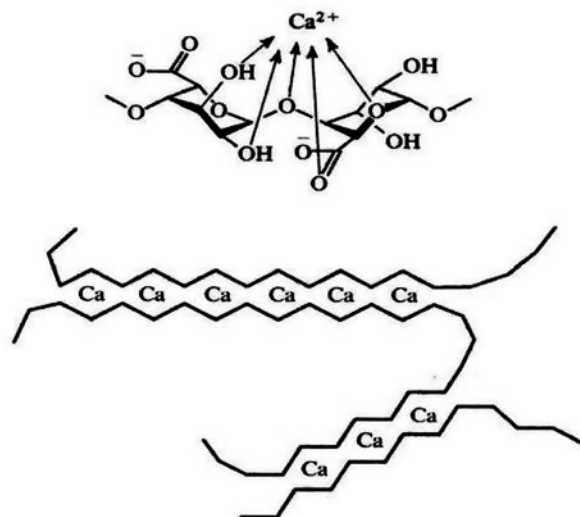


Рис. 1. Координация катионов кальция относительно карбоксильных групп в молекуле альгината

Fig. 1. Coordination of calcium cations relative to carboxyl groups in the alginate molecule

вых специализированных пищевых продуктов (СПП). При этом наиболее перспективным представляется направление, в котором создаются функциональные альгинатсодержащие продукты, где альгинаты являются органическими носителями биогенных жизненно необходимых микроэлементов, таких как калий, магний, кальций, железо, хром, медь, цинк в строго нормируемых количествах и обеспечивающих не менее $\frac{1}{4}$ суточной дозы каждого элемента. В последние годы получили широкое распространение СПП, содержащие альгинат и необходимые минеральные элементы – это биогели из ламинарии [Подкорытова и др., 2021].

Фукоиданы (Fucoidans) – сложные высокомолекулярные сульфатированные полисахариды бурых водорослей, главным моносахаридным компонентом которых является L-фукоза. Кроме фукозы, в состав фукоиданов могут входить и другие моносахариды: ксилоза, манноза, глюкоза, галактоза. Исследованиями установлено, что сезонные колебания в содержании фукоиданов в бурых водорослях на примере водорослей Белого и Баренцева морей, значительны и составляют 5–17% в зависимости от их порядка, рода и вида. Строение и свойства фукоиданов также различны и зависят от порядка, рода и вида бурых водорослей [Усов, Билан, 2009]. Из данных, представленных на рис. 2, очевидно, что фукусы содержат фукоидана в пять-десять раз больше, чем ламинарии и, следовательно, более пригодны для получения этого биоактивного вещества [Подкорытова и др., 2020].

Фукоиданы обладают антиопухолевой активностью, вирусингибирующим, интибактериальным, антикоагулянтным, антитромбическим действиями [Chandia, Matsuhira, 2008; Wang, et al., 2010]. Предполагается, что механизм действия фукоиданов связан с их высокой молекулярной массой [Shanmugam, Mody, 2000]. Фукоиданы в исследованиях *in vivo* и *in vitro* показали гепариноподобную антикоагулянтную и антитромбическую активности, которые опосредуются ингибиторами свертывания крови, такими как гепарин кофактор II или антитромбин III [Church et al., 1989; Collicie et al., 1991; Matou et al., 2002]. Антикоагулянтная активность фукоидана является результатом прямого взаимодействия фукоидан → тромбин [Graufel et al., 1989] и, обычно, увеличивается с увеличением количества сульфатных групп [Church et al., 1989; Добровольский, Титаева, 2013]. Исследования на животных показали, что фукоидан, выделенный из бурой водоросли *S. japonica*, влияет на гемостаз крови крыс. В низких дозах фукоидан ингибирует внутренний путь свертывания крови, а при увеличении вводимой дозы ингибирует и внешний, и внутренний пути гемостаза. Удлинение теста тромбинового времени под действием фукоидана свидетельствует о способности полисахарида влиять на завершающий этап процесса свертывания крови. Проведённые исследования показали, что степень антикоагулянтной активности фукоидана из *S. japonica* может быть сопоставима с таковой у гепарина. В то же время фукоидан, в отличие от гепарина, не обладает таким побочным эффектом, как тромбоцитопения [Шокур и др., 2013].

Как показали исследования, фукоидан имеет даже некоторые преимущества перед гепарином: 1 — он показывает зависимость от концентрации ингибирования процесса образования тромбина тромбоцитами; 2 — у него отсутствует гипотензивный эффект, характерный для тромбина. В эксперименте на кроликах было показано уменьшение прилипания полиморфноядерных лейкоцитов к их аорте, а также дозозависимое ингибирование тромбин-индуцированного тромбоза [Trento et al., 2001].

Исследованиями на людях было показано, что фукоиданы могут быть использованы для антикоагулянтной терапии у больных с врождённым или приобретённым дефицитом антитромбина III тогда, когда гепарин неэффективен [Shanmugam, Mody, 2000], а также при риске тромбообразования в процессе лечения больных от COVID-19 и осложнений, сопутствующих этому заболеванию. С другой стороны, эти эффекты очень важны и при многих других заболеваниях, так как образование тромбов в сосудах может привести к инфаркту миокарда и другим тяжёлым последствиям. И наоборот, снижение активности свёртывающей системы, и повышение текучести крови улучшают микроциркуляцию и обмен веществ в целом, предупреждают осложнения сердечно-сосудистых заболеваний [Вайс, Елькманн, 1996].

Пандемия коронавируса SARS-CoV-2, вызывающего атипичную пневмонию COVID-19 и, как следствие, тромбоз сосудов показала необходимость тщательного подбора рациона человека в новых условиях, чтобы помочь ему в укреплении иммунитета, в борьбе с вирусом и предотвращении тяжёлых последствий. На данном этапе развития знаний о фукоиданах, как

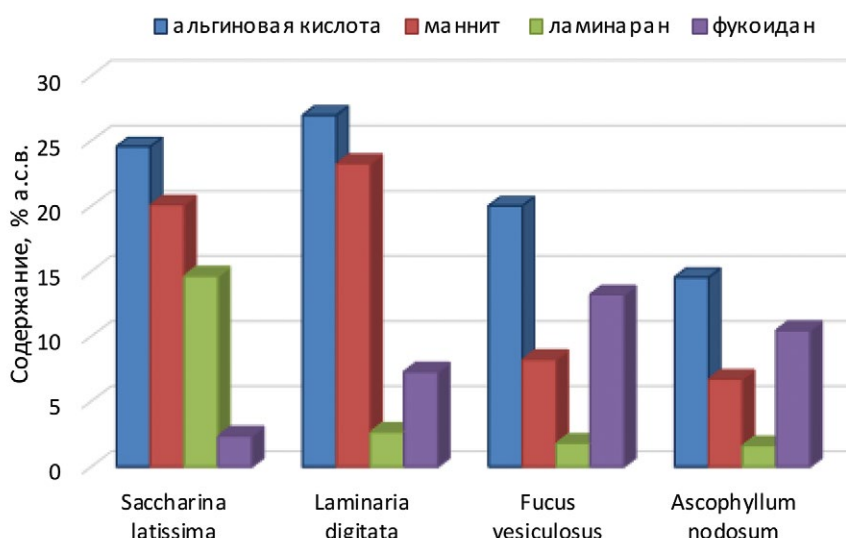


Рис. 2. Содержание основных БАВ в промысловых бурых водорослях Белого моря

Fig. 2. The content of the main biologically active substances in commercial brown algae of the White Sea

о противовирусных соединениях, H.J. Fitton с соавт. рекомендуют использовать эти полисахариды в качестве дополнительных средств для ограничения патологических процессов, вызванных респираторными вирусами, в том числе SARS-CoV-2, путём восстановления врождённых иммунных функций и подавления воспалительного процесса [Fitton et al., 2021]. В научных работах были опубликованы данные о противовирусном потенциале различных полисахаридов, в том числе фукоиданов, полученных из водорослей и механизме их действия [Pagarete et al., 2021].

Исследования показали, что гепариноподобные вещества могут быть не только химической природы, но и в виде натуральных, выделенных из биологических объектов и введённых в пищевые продукты (БАД, СПП и ФПП) при их изготовлении и, содержащих, например, фукоиданы. Сульфатированные полисахариды (фукоиданы) морских водорослей могут быть также использованы как потенциальные средства профилактики и в комплексной терапии гриппа и COVID-19 [Беседнова и др., 2021].

Фукоиданы хорошо экстрагируются водой и в слабых растворах [Подкорытова, 2005]. При этом основная часть биоактивных веществ бурых водорослей, в том числе и фукоиданы, переходит в экстрагент, в качестве которого используют воду, кислые растворы, спирты и другие растворители. Однако при восстанов-

лении сушёных водорослей в воде, как правило, происходят непредвиденные и невосполнимые потери БАВ. В табл. 3 представлены данные химического состава водных подкисленных экстрактов бурых водорослей Белого моря [Подкорытова и др., (в печати)].

Экстракты из *F. vesiculosus* и *A. nodosum* в значительных количествах содержат фукоиданы, ламинаран, альгинат, растворимые в воде протеины, а также минеральные микроэлементы и маннит. Содержание йода колеблется от 0,01 до 0,02 % в расчёте на сухое вещество. Экстракты из *S. latissima* содержат заметно меньше фукоидана, но больше маннита, белка, растворимой формы альгината, а также йода. Экстракт из *S. latissima* отличается высоким содержанием ламинарана. Исследования моносахаридного состава экстрактов показали, что экстракты из *F. vesiculosus* и *A. nodosum* содержат фукозу, ксилозу, маннозу, глюкозу и галактозу. Экстракты из *S. latissima* содержат те же моносахариды за исключением ксилозы (см. табл. 4).

В последнее время были исследованы антибактериальные свойства двух фракций фукоидана (сырой фукоидан и очищенный) из бурой водоросли *F. vesiculosus* Баренцева моря. Для обеих фракций фукоидана бактериостатический эффект с минимально ингибирующими концентрациями (МИК) в диапазоне от 4 до 6 мг/мл наблюдался на *Escherichia coli*, *Staphylococcus epidermidis*, *Staphylococcus aureus*

Таблица 3. Химический состав водных подкисленных экстрактов из бурых водорослей Белого моря

Table 3. Chemical composition of acidified aqueous extracts from brown algae of the White Sea

Наименование компонента	Водный экстракт (ВЭ) из:		
	<i>F. vesiculosus</i>	<i>A. nodosum</i>	<i>S. latissima</i>
Содержание, % сухого вещества			
Минеральные вещества	39,0	35,1	36,6
Азотистые вещества ($N_{\text{общ}} \times 6,25$)	4,5	5,4	6,8
Маннит	15,7	12,5	23,6
Фукоидан	8,7	9,6	2,1
Ламинаран	6,1	6,0	17,7
Альгинат	3,0	3,0	3,9
Йод	0,01	0,02	0,1–0,3

Таблица 4. Состав и содержание моносахаридов в экстрактах из бурых водорослей Белого моря

Table 4. Composition and content of monosaccharides in extracts from brown algae of the White Sea

Водный экстракт (ВЭ) из:	Содержание, % в расчёте на сухое вещество					
	Фукоза	Ксилоза	Манноза	Глюкоза	Галактоза	Сумма
<i>F. vesiculosus</i>	1,7	0,3	25,7	8,1	0,2	36,1
<i>A. nodosum</i>	2,8	0,1	22,5	6,0	0,2	31,5
<i>S. latissima</i>	0.97	—	53.6	17.7	0.39	72.7

и *Bacillus licheniformis*, причём, *E. coli* была наиболее чувствительна к каждой из фракций. Очистка сырого фукоидана, включающая обработку CaCl_2 , привела к снижению средней молекулярной массы фукоидана, изменению его моносакхаридного состава, снижению содержания сульфатов, удалению урсоновой кислоты и, как следствие, к снижению его антимикробной активности [Ayrapetyan et al., 2021]. Очевидно, что процедура получения высокоочищенных препаратов фукоидана снижает его антимикробную активность, хотя и не уничтожает совсем. В настоящее время развивается направление использования фукоиданов в технологии получения таблеток, и проводятся исследования биофармацевтических характеристик новой продукции [Облущинская и др., 2020].

Полифенолы (Polyphenoly) (гидроксibenзол) бурых водорослей являются одной из наиболее значительных групп соединений, определяющих их фармакологическое значение [Боголицын и др., 2018; Облущинская, Захарова, 2020]. Бурые водоросли накапливают полифенольных соединений от 14 до 20% от сухой массы водорослей, главным образом, представлены флороглюцином (1,3,5-тригидроксibenзола) и его полимерами — флоротаннинами. В связи с высокой фармакологической активностью фенольных соединений, характеризующихся присутствием флоротаннинов, проводятся многочисленные исследования различных видов бурых водорослей с целью получения исчерпывающей информации об их фенольном потенциале и понимания некоторых вопросов, связанных с применяемыми процедурами экстракции, методами определения и количественной оценки, для облегчения сравнения результатов разных исследований [Mekinic et al., 2019].

Флоротаннины состоят только из флороглюцина (1,3,5-тригидроксibenзола). Это химические структуры различной молекулярной массы, которые были идентифицированы у видов *Ecklonia*, *Eisenia* и *Ishige* [Thomas, Kim, 2011]. С тех пор, как они были обнаружены ещё в 70-х годах 20-го века, флоротаннины были предложены в качестве основного фактора, ответственного за антимикробную активность, приписываемую экстрактам водорослей. В настоящее время кумулятивные исследования *in vitro* и *in vivo* свидетельствуют о разнообразной биоактивности экстрактов флоротаннина, таких как противодиабетические, противораковые и антибактериальные, что указывает на их потенциальное фармакологическое и пищевое применение в качестве БАД. Однако биологические исследования и клинические испытания немногочисленны, и поэтому многие полезные для здоровья эф-

фекты флоротаннинов (полифенолов) у людей ещё не подтверждены.

Существуют сведения о недавних исследованиях по оценке противодиабетической и противоопухолевой активности флоротаннинов. Обсуждается их способность предотвращать и контролировать прогрессирование этих неинфекционных заболеваний с учётом исследований на животных, а также некоторых клинических испытаниях. В основном эти исследования относятся к использованию только изолированных экстрактов с флоротаннинами или экстрактов ими обогащённых. Множество проведённых исследований показывают противодиабетический и противораковый потенциал флоротаннинов, но сообщают, что необходимы дальнейшие клинические испытания, чтобы окончательно продемонстрировать эффективность этих соединений в качестве адъювантов для профилактики или лечения диабета и рака [Erpel et al., 2020]. Кроме того, полифенолы бурых водорослей обладают высокой антиоксидантной активностью и противомикробным действием. В одной из последних опубликованных работ A. Silva с соавторами представлены обширные данные по влиянию экстрагирующего растворителя на выход экстрактов, содержание в них фенолов, антиоксидантную способность и антимикробную активность девяти видов бурых макроводорослей (*Ascophyllum nodosum*, *Himanthalia elongata*, *Undaria pinnatifida*, *Pelvetia canaliculata*, *Saccharina latissima*, *Bifurcaria bifurcata*, *Sargassum muticum* и *Fucus spiralis*). Были установлены общее содержание фенолов (TPC) и антиоксидантные свойства экстрактов, полученных из этих водорослей. Авторы определяли активность по улавливанию радикалов (DPPH-RSA) и антиоксидантную способность восстановления железа (FRAP). Антимикробная активность экстрактов была изучена в отношении шести различных микроорганизмов пищевого происхождения: *S. aureus*, *Se. epidermidis*, *Bacillus cereus*, *E. coli*, *Salmonella enteritidis* и *Pseudomonas aeruginosa*. Самые высокие значения TPC и FRAP были получены для этилацетатных экстрактов, особенно из *A. nodosum*. Что касается видов водорослей, то самые высокие значения TPC и FRAP были также обнаружены у *A. nodosum*. Антимикробная активность экстрактов водорослей варьировалась в зависимости от выбранного растворителя и вида водорослей. При этом экстракты *B. bifurcata* показали самые высокие результаты для широкого круга бактерий. Полученные авторами результаты дают представление о характеристиках широко распространённых бурых водорослей в прибрежной зоне Северо-Западного региона Пиренейского полуострова, отражающих многочисленные оздоровительные свойства, которые могут привести

к их использованию в пищевой, фармакологической и косметической отраслях [Silva et al., 2021]. В некоторой степени эти данные могут распространяться и на водоросли Северной Атлантики, поскольку в числе изученных A. Silva с соавторами находятся виды, свойственные Белому и Баренцеву морям – это *A. nodosum*, *S. latissima* и водоросли рода *Fucus* sp.

Российскими учёными были проведены исследования химического состава бурых водорослей *A. nodosum* и *F. vesiculosus* Белого и Баренцева морей, которые показали, что ими были обнаружены довольно средние количества альгиновых кислот 11,2–17,7% и 14,5–18,5% и маннита 8,0–8,4% и 12,1%. Содержание фукоидана, напротив, было довольно высоким и составляло 10,3–11,7% и 14,7–15,2% соответственно. Общее содержание полифенолов для исследуемых водорослей было в диапазоне от 14,6 до 15,9%, при этом максимальное значение концентрации полифенолов найдено в водоросли вида *F. vesiculosus* из Белого моря (18,4%) [Клиндух, Облучинская., 2013]. Такое высокое содержание фукоидана и полифенолов в фукусовых водорослях Белого и Баренцева морей свидетельствует о возможности их использования для получения этих важных, особенно, в настоящее время БАВ с целью применения для профилактики и лечения вирусных и др. заболеваний. Высокая степень биологической активности полифенольных соединений обуславливает перспективность практического их применения в качестве лечебных и профилактических средств в пищевой, косметической, медицинской и фармакологической отраслях [Боголицын и др., 2018].

В одной из последних работ опубликованы данные о свойствах экстрактов полифенолов, полученных из морских бурых водорослей семейств Laminariaceae, Alariaceae, Arthrothamnaceae, Costariaceae, Cystoseiraceae и Fucaceae, произрастающих в прибрежных зонах Дальневосточных морей России. Показано, что выход полифенолов из водорослей определяется их видовой принадлежностью и зависит от природы используемого экстрагента (вода или 70%-ный этиловый спирт). По сумме полифенолов и их антиоксидантной активности максимальный эффект проявляли этанольные экстракты из водорослей родов *Agarum*, *Thalassiophyllum*, *Fucus*, *Stephanocystis* и *Arthrothamnus*.

Высокой эффективностью характеризовались водные экстракты из водорослей родов *Saccharina*, *Alaria* и *Costaria*. Наибольший выход суммы полифенолов с высокой антиоксидантной активностью, в том числе флоротаннинов, определён для экстрактов из *Agarum turneri*. К перспективным источникам полифенолов отнесены – *Fucus evanescens*, *Thalassiophyllum*

clathrus и *Stephanocystis crassipes*. Водный экстракт из *Costaria costata* также отнесён к экстрактам с высокой антиоксидантной активностью [Аминина и др., 2020].

Ламинаран – гомополисахарид с линейной либо со слабо разветвлённой структурой. Линейная и боковые цепи построены из звеньев остатков β-D-глюкопиранозы, соединённых β-(1→3)-гликозидными связями. Ламинаран содержится в талломе водорослей в двух различных формах, аналогичных по химической структуре, но различающихся по растворимости в холодной воде и осаждению из неё при добавлении спирта. Особенно много его обнаруживают в ламинарии сахаристой (*Saccharina latissima* (L.) Lane, Mayers, Druehl et Saund). Ламинараны – низкомолекулярные β-1,3–1,6-глюканы являются резервным полисахаридом бурых водорослей семейства ламинариевых, накапливаются в растениях в процессе роста и развития. Содержание ламинарана в водорослях Белого моря варьирует от 0,5 до 10% в зависимости от порядка и вида. В отдельных случаях содержание ламинарана может достигать 20–22% в *S. latissima* [Облучинская, 2020]. Ламинараны являются ингибиторами роста и развития вирусов, обладают свойствами антикоагулянта, удлиняют время свёртывания крови. Они уменьшают содержание липидов, в т.ч. холестерина, в сыворотке крови, повышают резистентность организма к бактериальным, вирусным, грибковым, паразитарным инфекциям. Ламинараны активируют антиинфекционную защиту, в связи с этим их применяют в качестве стимуляторов при вторичных иммунодефицитах [Усольцева и др., 2019].

Маннит (Mannitol) – низкомолекулярный углевод бурых водорослей. В тканях водорослей образуется в результате специфических особенностей процессов биосинтеза и ассимиляции. Маннит один из первых и основных продуктов фотосинтеза, выполняющего функцию запасного вещества, которое используется в синтезе структурных элементов клеточных стенок макрофитов и при этом выполняет важную для бурых водорослей осморегуляторную функцию. Уровень накопления маннита у Phaeophyceae колеблется от 5,0 до 23,3% в расчёте на сухое вещество (см. табл. 2, рис. 2). Этот показатель определяет ценность водорослей как сырья для получения природного кристаллического D-маннита. Содержание маннита в бурых водорослях, также как и альгиновой кислоты, варьирует в зависимости от вида водоросли, района произрастания, сезона сбора. Наиболее высоким содержанием маннита (20–22%) характеризуются бурые водоросли семейства ламинариевых (Laminariaceae) [Подкору-

това, 2005; Облущинская, 2021]. Меньше всего маннита содержится в водорослях в зимне-весенние месяцы (1–4%), к июлю-августу его количество значительно возрастает. Маннит используется как медицинское средство: это высокоэффективный диуретик, заменитель сахара для диабетиков, антисептик.

Минеральные вещества. Содержание минеральных веществ в бурых водорослях, произрастающих в Белом и Баренцевом морях колеблется в пределах 16–44% (см. табл. 2). Главным образом, это жизненно необходимые макро- и микроэлементы, такие как кальций, натрий, калий, магний, кальций, хром, селен, медь, йод и др. Они необходимы для нормальной жизнедеятельности человека. Рекомендуемые нормы суточного потребления макро- и микроэлементов, согласно МР 2.3.1.2432–08, а также их количественное содержание в *F. vesiculosus*, *F. distichus*, *A. nodosum* представлены в табл. 5.

Из представленных данных микро- и макроэлементного состава, очевидно, что все эти водоросли характеризуются высоким содержанием макроэлементов и могут быть использованы как источник этих важных для человека компонентов метаболизма. Следует отметить, что в водорослях содержатся не менее важные микроэлементы, такие как кобальт, никель, кремний, алюминий, олово, бор, литий, ванадий. Их присутствие не велико, но они играют немаловажную роль в функционировании всего живого.

Азотсодержащие вещества (белок) ламинариевых и фукусовых водорослей содержат комплекс аминокислот, таких как тирозин, треонин, пролин, серин, фенилаланин, аргинин, аланин, метионин, цистеин, валин, лизин, глицин, лейцин, изолейцин, гистидин, а также аспаргиновую и глутаминовую кислоты. Общее содержание белка колеблется в *F. vesiculosus* пределах 4,3–15,0%, в *A. nodosum* 4,7–9,0%, в ламинариевых

Таблица 5. Микро- и макроэлементный состав биомассы бурых водорослей порядка Fucales, собранных в летний и осенний период (Белое море)

Table 5. Micro- and macroelement composition of brown algae biomass of the order Fucales, collected in summer and autumn (White Sea)

Элемент	Символ	Суточная норма по МР 2.3.1.2432–08	Содержание, мг/100 г продукта					
			<i>F. vesiculosus</i>		<i>F. distichus</i>		<i>A. nodosum</i>	
			1	2	1	2	1	2
Макроэлементы								
Кальций *	Ca	1000 мг	1508,1	991,2	961,1	1074,3	1219,1	1464,8
Магний *	Mg	400 мг	950	779,4	651,7	688,1	523,2	567,3
Натрий *	Na	1300 мг	1965,1	2718,3	2134,8	2436,2	1430,0	2152,7
Калий *	K	2500 мг	3013	3119,6	3535,1	3601,2	1620,2	2628,2
Фосфор *	P	800 мг	389,9	333,8	345,4	426,5	620,0	940,4
Микроэлементы								
Кобальт*	Co	0,01 мг	0,121	0,102	0,138	0,208	0,831	0,645
Никель	Ni		0,685	0,386	0,563	0,716	0,158	0,229
Кремний	Si	30 мг	123,3	226,0	309,9	242,9	174,3	206,1
Хром*	Cr	0,05 мг	1,93	3,04	3,423	2,981	9,72	10,4
Алюминий	Al		20,35	9,22	20,9	14,5	6,70	11,1
Олово	Sn		0,019	0,238	0,019	0,02	0,014	0,013
Бор	B		65,9	17,5	13,9	12,2	8,88	10,02
Медь*	Cu	1 мг	0,21	0,15	1,42	0,17	0,23	0,16
Литий	Li		0,436	0,036	0,035	0,044	0,087	0,107
Железо*	Fe	10 мг (муж) /18 мг (жен)	88,9	52,8	85,2	48,3	31,2	43,5
Цинк	Zn	12 мг	2,17	6,74	7,76	5,17	5,05	5,73
Ванадий	V		0,587	0,297	0,125	0,038	0,542	0,234
Марганец	Mn	2 мг	2,62	1,58	1,62	2,14	1,88	3,64
Селен*	Se	0,075 мг (муж) / 0,055 мг (жен)	0,04	<0.0004	0,02	0,066	0,144	0,268

Примечание: * – жизненно необходимые микро- и макроэлементы; 1 – собраны в летний период; 2- собраны в осенний период.

7,0–18,0% (см. табл. 2). На долю свободных аминокислот приходится 50% азотсодержащих веществ водорослей, которые легко экстрагируются водой, в слабых растворах и растворах спиртов. Очевидно, что все белки, обнаруживаемые в экстрактах из бурых водорослей, относятся к свободным аминокислотам (см. табл. 3).

Йод — как микроэлемент входит в состав белка бурых водорослей в виде моно- и дийодаминокислот — это моно- и дийодтирозин, дийодтиронин и тироксин, а также — в состав других органических и минеральных веществ [Репина 2005; Подкорытова, 2005]. Минеральные формы йода представлены иодидами и иодатами. Содержание йода в бурых водорослях зависит от их возраста, сезона сбора, порядка и вида, а также зависит от экологических факторов. Бурые водоросли порядка ламинариевых (*Laminariales*) накапливают йода в 5–10 раз больше, чем водоросли порядка фукусковых (*Fucales*). В ламинариевых водорослях содержание йода в среднем составляет: *S. latissima* — 0,31%, *L. digitata* — 0,25%; в фукоидах: *A. nodosum* — 0,037% и *F. vesiculosus* — 0,027% (см. рис. 3). Часть йода бурых водорослей, представленная йодорганическими соединениями, хорошо усваивается организмом [Подкорытова и др., 2020]. Морские бурые водоросли давно и успешно применяются в качестве исходного сырья при изготовлении йодсодержащих БАД, применяемых для ликвидации йоддефицита у населения [Подкорытова, Вишневская, 2003 а, б].

Липиды. Общее содержание липидов в бурых водорослях колеблется в пределах 0,5–6,6%. Для них характерно содержание триглицеридов, ненасыщенных жирных кислот, это в основном линоленовая и линолевая кислоты [Хотимченко, 2003].

Наши исследования жирнокислотного состава липидов бурых водорослей, собранных в прибрежной

зоне Белого моря (см. табл. 6) показали, что их состав представлен эйкозатетраеновой (11,7%), эйкозапентаеновой (8,8%), докозагексаеновой (3,6%), а также миристиновой (12,3%), пальмитиновой (21,2%) ЖК. Содержание некоторых полиненасыщенных жирных кислот семейства ω -3, таких как эйкозапентаеновая, докозагексаеновая, линоленовая колеблется в пределах 0,9–8,8% от общего количества липидов, что характеризует их как источник этих важных БАВ для функционирования организма человека.

Пигментный комплекс бурых водорослей, придающий им характерную бурую окраску, очень специфичен и содержит фукоксантин, который в сочетании с b-хлорофиллом, хлорофиллом а, с; е-каротином определяет цвет зрелых слоевищ и обладает широким спектром биологических активностей. В фукусковых водорослях содержатся: хлорофилл а, хлорофилл с, фукоксантин, неоксантин и — каротиноиды, а также витамины: С, А (ретинол), В₂ (рибофлавин) и другие [Репина, 2005]. Результаты наших исследований содержания пигментов в фукусах Белого моря представлены в табл. 7 [Игнатова и др., 2021].

В научной литературе хорошо описаны общетонизирующие и биостимулирующие свойства пигментов бурых водорослей. Показана их гемостимулирующая, противовоспалительная и стимулирующая регенерацию тканей активности. Пигментный комплекс водорослей обладает ранозаживляющим, бактерицидным и противовирусным действием [Коровкина, 2007; Беседнова и др., 2015].

Витамины. Морские бурые водоросли-макрофиты содержат довольно широкий набор витаминов, таких как А (до 10 мг/кг сух. веса), Е (до 64 мг/кг), D₃ (до 0,11 мг/кг), В₁ (6,8 мг/кг), В₂ (6,0 мг/кг), В₃ (18,5 мг/кг), В₆ (151 мг/кг), В₁₂ (0,1 мг/кг), витамин С (151 мг/кг) [Облучинская, 2005; Репина, 2005].

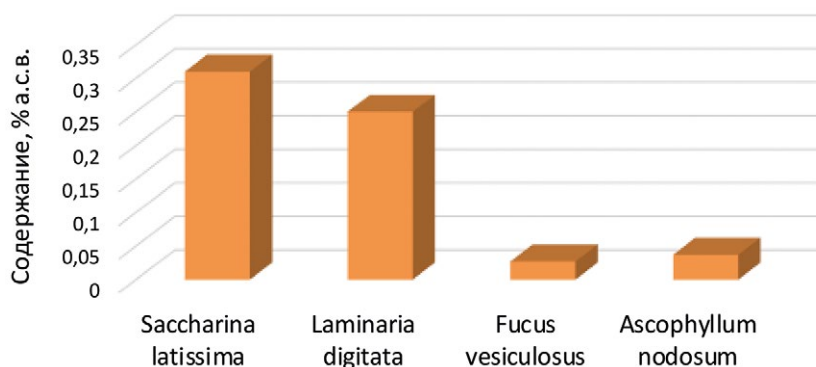


Рис. 3. Содержание йода в промысловых бурых водорослях Белого моря
Fig. 3. Iodine content in commercial brown algae of the White Sea

Таблица 6. Жирнокислотный состав липидов бурых водорослей порядка Fucales (Белое море)

Table 6. Fatty acid composition of lipids from brown algae of the order Fucales (White Sea)

Жирные кислоты	Содержание, % от общей суммы жирных кислот					
	<i>F. vesiculosus</i>			<i>F. distichus</i> *	<i>A. nodosum</i> (0,42%)	
	(3,12%) **	(1,43%) *	***	(0,36%)	*	***
14:0 (миристиновая)	12,286	11,851	15,3	10,593	9,220	8,9
16:0 (пальмитиновая)	14,758	12,869	13,3	21,187	14,872	9,5
16:1w7 (пальмитолеиновая)	1,159	1,450	2,4	3,107	2,320	3,9
18:0 (стеариновая)	0,709	1,586	не опр.	2,126	1,553	не опр.
18:1w9 (олеиновая)	26,305	38,517	48,8	29,800	44,838	44,1
18:2 (линолелаидиновая)	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	8,777	не опр.
18:2w6 (линолевая)	11,017	8,190	не опр.	12,935	1,701	не опр.
18:3w3 (ветта-линоленовая)	0,401	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.
18:3 (альфа-линоленовая)	6,867	1,371	не опр.	2,138	не опр.	не опр.
20:4w6 (арахидоновая)	11,700	4,049	4,0	3,624	7,255	7,2
22:1 (эруковая)	0,993	1,837	не опр.	4,293	0,202	не опр.
20:5w3 (эйкозапентаеновая)	8,834	9,692	не опр.	2,544	3,054	1,8
22:6 (докозагексаеновая)	0,615	3,639	не опр.	2,022	0,940	не опр.
Прочие	4,356	8,742	не опр.	5,631	5,268	не опр.
ΣНасыщенные	29,071	27,225	28,700	36,900	26,478	не опр.
ΣМононенасыщенные	29,873	43,122	52,700	38,977	48,574	не опр.
ΣПолиненасыщенные	41,059	29,652	4,000	24,123	24,948	не опр.

Примечание: * — метод Сокслета; ** — метод Блайя и Дайера; *** — литературные данные [Облучинская, 2005].

Таблица 7. Состав и содержание пигментов в свежесобраных бурых водорослях порядка Fucales (Белое море), собранных в летний и осенний период

Table 7. Composition and content of pigments in freshly harvested brown algae of the order Fucales (White Sea), collected in summer and autumn

Наименование пигмента	Содержание, мг/г водорослей					
	<i>A. nodosum</i>		<i>F. vesiculosus</i>		<i>F. distichus</i>	
	1	2	1	2	1	2
Хлорофилл <i>a</i>	0,084	0,119	0,010	0,389	0,108	0,325
Хлорофилл <i>b</i>	0,014	0,014	0,003	0,070	0,018	0,046
Σ хлорофиллов <i>a</i> и <i>b</i>	0,098	0,132	0,013	0,458	0,125	0,371
Фукоксантин	0,103	0,082	0,038	0,336	0,149	0,228
Виолаксантин	0,060	0,054	0,020	0,196	0,076	0,143
β-каротин	0,050	0,040	0,018	0,164	0,073	0,112
Лютеин	0,054	0,044	0,019	0,180	0,069	0,124
Лютеин-5,6-эпоксид	0,058	0,056	0,021	0,202	0,074	0,146
Ауроксантин	0,087	0,093	0,029	0,288	0,111	0,214
Неоксантин	0,067	0,054	0,023	0,217	0,085	0,152
Антераксантин	0,057	0,049	0,021	0,195	0,072	0,135
Зеаксантин	0,053	0,042	0,019	0,173	0,077	0,118
Сумма	0,687	0,646	0,221	2,409	0,911	1,743

Примечание: 1 — собраны в летний период, 2 — собраны в осенний период.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в настоящее время бурые водоросли семейств Laminariales и Fucales (класс Phaeophyceae) рассматриваются как перспективные источники БАВ, которые положительно влияют на метаболизм, функции органов и, в целом, на здоровье человека.

В связи с систематическими исследованиями в последние десятилетия значительно возросло число открытых биоконпонентов из макро-водорослей с определённой биологической активностью. Однако, несмотря на интенсивные исследовательские усилия академических и прикладных учреждений, ещё очень мало продуктов с реальным потенциалом было выявлено, выделено и реализовано в виде продукции. Фукоиданы, полифенолы, альгиновые кислоты – это вещества, которым в настоящее время наибольшее внимание уделяется фармацевтическими учреждениями, и они используются при разработке лекарств или в области исследований, связанных с медициной. Кроме того, их предполагается использовать в качестве противовирусных и антикоагулянтных веществ, а также в качестве возможного средства для лечения рака лёгких и других опухолей, диабета и в комплексной терапии гриппа и COVID-19. Обсуждаются потенциальные фармацевтические, медицинские и исследовательские применения БАВ бурых водорослей и их использование при разработке СПП и ФПП.

Вклад в работу

Подкорытова А.В. – Существенный вклад в замысел исследования, сбор аналитических данных, их анализ и интерпретация. Рощина А.Н. – сбор данных литературы, обзор собственных исследований, оформление. Редактирование, обсуждение текста – совместно.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов.

Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

Финансирование

Работа финансировалась в рамках Государственного задания 2021 г. ФГБНУ «ВНИРО» по подтеме 5.3 «Разработка и совершенствование технологий комплексной переработки промысловых и потенциально промысловых водорослей-макрофитов и морских трав прибрежных зон морей Российской Федерации», Государственной работы «Проведение прикладных исследований».

ЛИТЕРАТУРА

- Аминина Н.М., Вишневская Т.И., Караулова Е.Н., Епур В.П., Якуш Е.В. 2020. Перспективы использования промысловых и потенциально промысловых бурых водорослей дальневосточных морей в качестве источника полифенолов // Биология моря. Т. 46. № 1. с. 37–44. DOI: 10.31857/S0134347520010027.
- Беседнова Н.Н., Звягинцева Т.Н., Андрюков Б.Г., Запорожец Т.С., Кузнецова Т.А., Крыжановский С.П., Гусева Л.Г., Щелканов М.Ю. 2021. Сульфатированные полисахариды морских водорослей как потенциальные средства профилактики и терапии гриппа и COVID-19 // Антибиотики и химиотерапия. Т. 66. № 7–8. С. 50–66. DOI 10.37489/0235–2990–2021–66–7–8–50–66.
- Беседнова Н.Н., Кузнецова Т.А., Запорожец Т.С., Звягинцева Т.Н. 2015. Морские бурые водоросли – источник новых фармацевтических субстанций антибактериальной направленности // Антибиотики и химиотерапия. Т. 60. (3–4). С. 31–41.
- Блинова Е.И. 2007. Водоросли-макрофиты и травы морей европейской части России (флора, распространение, биология, запасы, марикультура). М.: Изд-во ВНИРО. 114 с.
- Боголицын К.Г., Дружинина А.С., Овчинников Д.В., Каплицин П.А., Шульгина Е.В., Паршина А.Э. 2018. Полифенолы бурых водорослей // Химия растительного сырья. № 3. С. 5–21. DOI: 10.14258/jcprm.2018031898.
- Глубоковский М.К., Тарасюк С.Н., Зверькова Л.М., Семьян Л.В., Мурзов Н.Н., Петрова Н.В., Бражник С.Ю., Скакун В.А. 2012. Сырьевая база российского рыболовства в 2012 году: Районы российской юрисдикции. М.: Изд-во ВНИРО. 497 с.
- Добровольский А.Б., Титаева Е.В. 2013. Образование тромбина и его функции в системе гемостаза // Атеротромбоз. № 1. С. 66–72.
- Евсеева Н.В. 2014. Структура фитоценозов и динамика ценопопуляций фукусовых водорослей на литорали западного Мурмана // Биоразнообразие и устойчивость живых систем. Тез. XIII Межд. науч.-практ. экологической конф. Белгород: ИД «Белгород» НИУ БелГУ. С. 91–92.
- Игнатова Т.А., Рощина А.Н., Подкорытова А.В. 2021. Технология экстракции комплекса пигментов из фукусов Белого моря // Пищевые технологии: исследования, инновации, маркетинг: сборник трудов по материалам I Междун. науч.-практ. конф. (23–25 сентября 2021 г.) / под общ. ред. Е.П. Масюткина; науч. ред. О.Е. Битютская. КГМТУ. Керчь: КГМТУ. С. 78–83.
- Клиндух М.П., Облучинская Е.Д. 2013. Сравнительное исследование химического состава бурых водорослей *Fucus vesiculosus* и *Ascophyllum nodosum* // Вестник МГТУ, Т. 16. № 3. С. 466–471.
- Корзун В.И., Воронова Ю.Г., Парац А.И., Рогальская Л.А., Подкорытова А.В. 1992. Альгинаты в профилактике внутреннего облучения стронцием // Медицинская радиология. № 3. С. 31–34.
- Коровкина Н.В., Богданович Н.И., Кутакова Н.А. 2007. Исследование состава бурых водорослей Белого моря с целью дальнейшей переработки // Химия растительного сырья. № 1. С. 59–64.
- Кудряшов А.П., Дитченко Т.И., Молчан О.В., Смолич И.И., Яковец О.Г. 2011. Физиология растений: лабораторный

- практикум для студентов биологического факультета. Минск: БГУ. 76 с.
- Облущинская Е.Д. 2005. Технологии лекарственных и лечебно-профилактических средств из бурых водорослей. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН. 164 с.
- Облущинская Е.Д. 2020. Фитохимические и технологические исследования водорослей Баренцева моря // Труды КНЦ РАН. Т. 11. № 4–7. С. 178–198. DOI 10.37614/2307–5252.2020.11.4.008.
- Облущинская Е.Д., Захарова Л.В. 2020. Сравнительное исследование полифенолов бурых водорослей морей Арктики и Северной Атлантики // Химия растительного сырья, № 4. С. 129–137. DOI 10.14258/jcrpm.2020047755.
- Облущинская Е.Д., Пожарицкая О.Н., Флисюк Е.В., Шиков А.Н. 2020. Оптимизация состава и технологии получения таблеток с фукоиданом и их биофармацевтическая оценка // Химико-фармацевтический журнал. Т. 54. № 5. С. 38–42. DOI 10.30906/0023–1134–2020–54–5–38–42.
- Подкорытова А.В. 2005. Морские водоросли — макрофиты и травы. М.: Изд-во ВНИРО. 175 с.
- Подкорытова А.В., Аминина Н.М., Ковалева Е.А., Корзун В.Н., Парац А.Н. 1992. Изменение сорбционной активности альгиновой кислоты при получении лечебно-профилактической продукции // Известия ТИНРО. Т. 114. С. 146–149.
- Подкорытова А.В., Вафина Л.Х., Муравьева Е.А., Шарина З.Н. 2009. Санитарно-гигиеническая характеристика бурых водорослей Белого и Баренцева морей // Рыбпром № 4. С. 33–39.
- Подкорытова А.В., Вишневская Т.И. 2003 а. Морские бурые водоросли — естественный источник йода // Парафармацевтика. Фармацевтический бюлл. № 2. С. 22–23.
- Подкорытова А.В., Вишневская Т.И. 2003 б. Морские бурые водоросли — естественный источник йода // Парафармацевтика. Фармацевтический бюлл. № 3. С. 18–19.
- Подкорытова А.В., Игнатова Т.А., Рощина А.Н., Котельникова Л.Х. 2021. Морские водоросли дальневосточного и северного рыбохозяйственных бассейнов: запасы, добыча, перспективы использования // Сб. тез. докл. II Межд. науч.-практ. конф. «Инновационные направления интеграции науки, образования и производства» / ред. Масюткина Е.П. Керчь: КГМТУ. С. 253–257.
- Подкорытова А.В., Котельникова Л.Х., Шашкина И.А. 2021. Биогели Витальгар из водорослей семейства Laminariaceae, их роль в борьбе против COVID-19 // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. Т. 98. № 3–2. С. 153–154. DOI 10.17116/kurort20219803221.
- Подкорытова А.В., Рощина А.Н., Бузова Н.В. 2020. Водоросли-макрофиты прибрежных зон морей северного рыбохозяйственного бассейна: добыча, переработка, обоснование их комплексного использования // Инновационные направления интеграции науки, образования и производства: Сб. тезисов докладов участников I Междунар. науч.-практ. конф. / ред. Е.П. Масюткина. Керчь: КГМТУ. С. 271–276.
- Подкорытова А.В., Рощина А.Н., Евсеева Н.В., Усов А.И., Головин Г.Ю., Попов А.М. 2020. Бурые водоросли порядков Laminariales и Fucales Сахалино-Курильского региона: запасы, добыча, использование // Труды ВНИРО. Т. 181. С. 202–223. DOI: 10.36038/2307–3497–2020–181–235–256.
- Подкорытова А.В., Рощина А.Н., Котельникова Л.Х. (в печати). Научно-практические основы последовательного экстрагирования фукоиданов и энтеросорбентов из бурых водорослей // IX Межд. Балтийский форум. X Межд. науч.-практ. конф. «Пищевая и морская биотехнология» Ч. 8. Калининград: Изд-во БГАРФ.
- Подкорытова А.В., Рощина А.Н., Котельникова Л.Х. 2021. Комплексная технология получения альгината натрия, фукоидансодержащих концентратов и пищевых продуктов из *Saccharina japonica* // Сб. тезисов докладов участников пула науч.-практ. конф. Керчь: КГМТУ. С. 229–233.
- Репина О.И. 2005. Обоснование и разработка технологии биологически активных веществ из фукусовых водорослей Белого моря. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: ВНИРО. 24 с.
- Рыбалкина О.Ю., Лопатина К.А., Сафонова Е.А., Ефимова Л.А. 2014. Перспективы использования альгината натрия с различной молекулярной массой в комплексной терапии злокачественных новообразований // Бюллетень ВСНЦ со РАМН. № 5(99). С. 63–67.
- Урванцева А.М., Бакунина Н.Ю., Ким Н.Ю., Исаков В.В., Глазнов В.П., Звягинцева Т.Н. 2004. Выделение очищенного фукоидана из природного комплекса с полифенолами и его характеристика // Химия растительного сырья. № 3. С. 15–24.
- Усов А.И. 2018. Особенности структурного анализа сульфатированных полисахаридов // Фундаментальная гликобиология. Сб. матер. IV Всерос. конф. / ред. С.Г. Литвинцев. Киров: Вятский гос. университет. С. 160–161.
- Усов А.И., Билан М.И. 2009. Фукоиданы — сульфатированные полисахариды бурых водорослей // Успехи химии. Т. 78. № 8. С. 846–862.
- Усольцева Р.В., Звягинцева Т.Н., Ермакова С.П. 2019. Структурное разнообразие ламинаранов бурых водорослей, перспективы их использования // Вестник ДВО РАН. № 5(207). С. 84–89. DOI 10.25808/08697698.2019.207.5.010.
- Ушакова Н.А., Морозевич Е.Е., Устюжанина Н.Е., Билан М.И., Усов А.И., Нифантьев Н.Э., Преображенская М.Е. 2008. Антикоагулянтная активность фукоиданов из бурых водорослей // Биомедицинская химия. Т. 54. № 5. С. 597–606.
- Хотимченко С.В. 2003. Липиды морских водорослей-макрофитов и трав. Структура, распределение, анализ. Владивосток: Дальнаука. 230 с.
- Штильман М.И., Подкорытова А.В., Немцев С.В., Кряжев В.Н., Пешехонова А.Л., Сдобникова О.А., Панов А.В., Свитцов А.А., Фрумин Л.Е., Иванкин А.Н., Волова Т.Г., Жила Н.О., Шишацкая Е.И., Истратов Л.П., Истратова Е.В., Сакварелидзе М.А., Гусаров Д.А., Берковский А.Л., Подгорский В.С., Коваленко Э.А. 2015. Технология биополимеров медико-биологического назначения. Полимеры природного происхождения. М.: Изд. БИНОМ Лаборатория знаний. 328 с.
- Afonso N.C., Catarino M.D., Silva A.M.S., Cardoso S.M. 2019. Brown Macroalgae as Valuable Food Ingredients // Antioxidants. Vol. 8. № 9. P. 365. DOI 10.3390/antiox8090365.
- Ariedea M.B., Candidoia T.M., Morcho J.A.L., Robles V.M.V., de Carvahob J.K.M., Babya A.R. 2017. Cosmetic attributes

- of algae: A review // *Algal Research*. 25. P. 483–487. DOI:10.1016/J.ALGAL.2017.05.019.
- Ayrapetyan O.N., Zhurishkina E.V., Lebedev D.V., Kulminskaya A.A., Lapina I.M., Obluchinskaya E.D., Skorik Y.A. 2021. Antibacterial properties of fucoidans from the brown algae *Fucus vesiculosus* L. of the Barents Sea // *Biology*. T. 10. № 1. P.1–17. DOI 10.3390/biology10010067.
- Cardozo K.H.M., Guaratini T., Barros M.P., Falcão V.R., Tonon A.P., Lopes N.P., Campos S., Torres M.A., Souza A.O., Colepicolo P., Pinto E. 2007. Metabolites from algae with economic impact // *Comp. Biochem. Physiol. Part C*. № 146. P. 60–78.
- Church F.C., Meade J.B., Treanor R.E., Whinna H.C. 1989. Antithrombin activity of fucoidan // *J. biol. Chem.* 264: P. 3618–3623.
- Collic S., Fischer A.M., Tapon-Brethaudiere J., Boisson C., Durand P., Jozefonvicz J. 1991. Anticoagulant properties of a fucoidan fraction // *Thromb. Res.* 64: P. 143–154.
- Erpel F., Mateos R., Peres-Kimenez J., Peres-Correa J. 2020. Phlorotannins: From isolation and structural characterization, to the evaluation of their antidiabetic and anticancer potential // *Food Res Int.* Nov;137:109589. DOI:10.1016/j.foodres.2020.109589.
- Fitton J.H., Park A.Y., Karpiniec S.S., Stringer D.N. 2021. Fucoidan and Lung Function: Value in Viral Infection // *Mar Drugs*. 19, 4, 7 p.
- Graufel V., Kloareg B., Mabeau S., Durand P., Jozefonvicz J. 1989. New natural polysaccharides with potent antithrombic activity: fucans from brown algae // *Biomaterials*. 10: P. 363–368. DOI: 10.1016/0142–9612(89)90127–0.
- Kordjazi M., Etemadian Y., Shabanpour B., Pourashouri P. 2019. Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of fucoidan extracted from two species of brown seaweeds (*Sargassum ilicifolium* and *S. angustifolium*) around Qeshm Island // *Iranian J. of Fisheries Sciences*. C. 18(3). P. 457–475. DOI: 10.22092/IJFS.2018.115491.
- Matou S., Helley D., Chabut D., Bros A., Fischer A-M. 2002. Effect of fucoidan on fibroblast growth factor-2-induced angiogenesis in vitro // *Thromb. Res.* 106: P. 213–221. DOI: 10.1016/s0049–3848(02)00136–6.
- Mekinic I.G., Skroza D., Simat V., Hamed I., Cagalj M., Percovic Z.P. 2019. Phenolic Content of Brown Algae (Phaeophyceae) Species: Extraction, Identification, and Quantification // *Biomolecules*. Jun 22; 9(6): 244 p. DOI:10.3390/biom9060244.
- Nguyen P.H., Choi I.-W., Kim S.-K., Jung W.K. 2011. Immune regulatory effects of phlorotannins derived from marine brown algae (Phaeophyta) // *Handbook of marine macroalgae: Biotechnology and Applied phycology*. Chichester, U.K.: John Wiley & Sons. P. 340–343. DOI:10.1002/9781119977087.ch17.
- Ragan M.A., Glombitza K.V. 1986. Phlorotannins, brown algal polyphenolics // *Progress in Phycological Research*, Bristol. V. 4. P. 129–241.
- Richards C., Williams N.A., Fitton, J.H., Stringer D.N., Karpiniec S.S., Park A.Y. 2020. Oral fucoidan attenuates lung pathology and clinical signs in a severe influenza A mouse model // *Mar Drugs*. 18, 246. 10 p. DOI:10.3390/md18050246.
- Rodriguez-Amaya D.B. 2001. A guide to carotenoid analysis in foods // *Printed in the United States of America*. 64 p.
- Salvador N., Garreta A.G., Lavelli L., Ribera M.A. 2007. Antimicrobial activity of Iberian macroalgae // *Sci. Mar.* № 71. P. 101–113. ISSN: 0214–8358.
- Silva A., Rodrigues C., Garcia-Oliveira P., Lourenço-Lopes C., Silva S.A., Garcia-Perez P., Carvalho A.P., Domingues V.F., Barroso F., Delerue-Matos C., Simal-Gandara J., Prieto M.A. 2021. Screening of Bioactive Properties in Brown Algae from the Northwest Iberian Peninsula // *Foods*, 10, 1915. 15 p. DOI:10.3390/foods10081915.
- Smit A.J. 2004. Medicinal and pharmaceutical uses of seaweed natural products: A review // *J. Appl. Phycol.* № 16. P. 245–262. DOI:10.1023/B: JAPH.0000047783.36600.ef.
- Thomas NV, Kim Se-K. 2011. Potential pharmacological applications of polyphenolic derivatives from marine brown algae // *Environmental Toxicology and Pharmacology*. V. 32. Is. 3. P. 325–335. DOI: 10.1016/j.etap.2011.09.004.

REFERENCES

- Aminina N.M., Vishnevskaya T.I., Karaulova E.N., Epur V.P., Yakush E.V. 2020. Prospects for the Use of Commercial and Potentially Commercial Brown Algae of the Far Eastern Seas as a Source of Polyphenols // *Biology of the Sea*. Vol. 46. № 1. P. 37–44. DOI: 10.31857/S0134347520010027.
- Besednova N.N., Zvyagintseva T.N., Andryukov B.G., Zaporozhets T.S., Kuznetsova T.A., Kryzhanovsky S.P., Guseva L.G., Shchelkanov M. Yu. 2021. Seaweed-Derived Sulfated Polysaccharides as Potential Agents for Prevention and Treatment of Influenza and COVID-19 // *Antibiotics and Chemotherapy*. V. 66. № . 7–8. P. 50–66. DOI 10.37489 / 0235–2990–2021–66–7–8–50–66.
- Besednova N.N., Kuznetsova T.A., Zaporozhets T.S., Zvyagintseva T.N. 2015. Brown Seaweeds as a Source of New Pharmaceutical Substances with Antibacterial Action // *Antibiotics and Chemotherapy*. V. 60. (3–4). P. 31–41.
- Blinova E.I. 2007. Seaweeds and Seagrasses of the European part of Russia (flora, distribution, biology, resources, mariculture). M.: VNIRO Publish. 114 p.
- Bogolitsyn K.G., Druzhinina A.S., Ovchinnikov D.V., Kaplitsin P.A., Shulgina E.V., Parshina A.E. 2018. Polyphenols of Brown Algae // *Chemistry of Plant Raw Materials*. № . 3. P. 5–21. Doi: 10.14258 / jcpm.2018031898.
- Glubokovsky M.K., Tarasyuk S.N., Zverkova L.M., Semenyak L.V., Murzov N.N., Petrova N.V., Brazhnik S. Yu., Skakun V.A. 2012. Raw Material Base of Russian Fisheries in 2012: Areas of Russian Jurisdiction. M.: VNIRO Publish. 497 p.
- Dobrovolsky A.B., Titaeva E.V. 2013. Thrombin formation and its functions in the hemostatic system // *Atherothrombosis*. № 1. P. 66–72.
- Evseeva N.V. 2014. The structure of phytocenoses and dynamics of cenopopulations of *Fucus* algae in the littoral zone of western Murman // *Biodiversity and stability of living systems. Abstracts. XIII Int. scientific-practical environmental conf.* Belgorod: Publishing House «Belgorod» NRU BelGU. P. 91–92.
- Ignatova T.A., Roshchina A.N., Podkorytova A.V. 2021. Technology of extraction of a complex of pigments from *Fucus* of the White Sea // *Food technologies: research, innovation, marketing. The materials of the I Intern. Scien.-Pract. conf.*

- (September 23–25, 2021) / ed. E.P. Masyutkin; scien. ed. by O.E. Bityutskaya. Kerch: KGMTU. P. 78–83.
- Klindukh M.P., Obluchinskaya E.D. 2013. Comparative study of the chemical composition of brown algae *Fucus vesiculosus* and *Ascophyllum nodosum* // Vestnik MGTU, V. 16. № 3. P. 466–471.
- Korzun V.I., Voronova Yu.G., Parats A.I., Rogalskaya L.A., Podkorytova A.V. 1992. Alginates in the prevention of internal exposure to strontium // Medical Radiology. № 3. P. 31–34.
- Korovkina N.V., Bogdanovich N.I., Kutakova N.A. 2007. Study of the Brown Algae composition in the White Sea for the purpose of further processing // Chemistry of Plant Raw Materials. № 1. P. 59–64.
- Kudryashov A.P., Ditchenko T.I., Molchan O.V., Smolich I.I., Yakovets O.G. 2011. Plant physiology: laboratory practice for students of the Faculty of Biology. Minsk: BSU, 76 P.
- Obluchinskaya E.D. 2005. Technologies of medicinal and therapeutic-prophylactic agents from brown algae. Apatity: Publishing house of the KSC RAS. 164 P.
- Obluchinskaya E.D. 2020. Phytochemical and technological studies of algae in the Barents Sea // Proceedings of the KSC RAS. Vol.11. № 4–7. P. 178–198. DOI 10.37614 / 2307–5252.2020.11.4.008.
- Obluchinskaya E.D., Zakharova L.V. 2020. Comparative study of brown algae polyphenols in the Arctic and North Atlantic seas // Chemistry of plant raw materials. № 4. P. 129–137. DOI 10.14258 / jcpm.2020047755.
- Obluchinskaya E.D., Pozharitskaya O.N., Flisyuk E.V., Shikov A.N. 2020. Optimization of the composition and technology of obtaining tablets with fucoidan and their biopharmaceutical evaluation // Chemical and pharmaceutical journal. V. 54. № 5. P. 38–42. DOI 10.30906 / 0023–1134–2020–54–5–38–42.
- Podkorytova A.V. 2005. Marine macrophytic algae and grasses. M.: VNIRO Publish. 175 p.
- Podkorytova A.V., Aminina N.M., Kovaleva E.A., Korzun V.N., Parats A.N. 1992. Changes in the sorption activity of alginic acid in the process of obtaining therapeutic and prophylactic products // Izvestiya TINRO. V. 114. P. 146–149.
- Podkorytova A.V., Vafina L. Kh., Muravyova E.A., Sharina Z.N. 2009. Sanitary and hygienic characteristics of brown algae in the White and Barents Seas // Rybprom № 4. p. 33–39.
- Podkorytova A.V., Vishnevskaya T.I. 2003 a. Sea brown algae – a natural source of iodine // Parapharmaceuticals. Pharmaceutical Bulletin № 2. p.22–23.
- Podkorytova A.V., Vishnevskaya T.I. 2003 b. Sea brown algae – a natural source of iodine // Parapharmaceuticals. Pharmaceutical Bulletin № 3. p. 18–19.
- Podkorytova A.V., Ignatova T.A., Roshchina A.N., Kotelnikova L. Kh. 2021. Seaweed of the Far Eastern and Northern fishery basins: reserves, production, prospects for use // II Int. scientific-practical conf. «Innovative directions of integration of science, education and production» / ed. Masyutkina E.P. Kerch: KGMTU. P. 253–257.
- Podkorytova A.V., Kotelnikova L. Kh., Shashkina I.A. 2021. Vitalgar biogels from algae of the Laminariaceae family, their role in the fight against COVID-19 // Questions of balneology, physiotherapy and exercise therapy. V. 98. № 3–2. P. 153–154. DOI 10.17116 / kurort20219803221.
- Podkorytova A.V., Roshchina A.N., Burova N.V. 2020. Algae-macrophytes of the Seas Coastal Zones of the Northern Fishery Basin: extraction, processing, substantiation of their integrated use // Innovative directions of science, education and production integration. Abstr. of the participants of the I Intern. scien.-pract. conf. / Ed. E.P. Masyutkina. Kerch: KGMTU. P. 271–276.
- Podkorytova A.V., Roshchina A.N., Evseeva N.V., Usov A.I., Golovin G. Yu., Popov A.M. 2020. Brown algae of the orders Laminariales and Fucales from the Sakhalin-Kuril region: stocks, extraction, use // Trudy VNIRO. Vol. 181. P. 202–223. DOI: 10.36038 / 2307–3497–2020–181–235–256.
- Podkorytova A.V., Roshchina A.N., Kotelnikova L. Kh. (in press) Scientific and practical bases of sequential extraction of fucoidans and enterosorbents from brown algae // IX Int. Baltic Forum. X Int. scientific-practical conf. «Food and Marine Biotechnology» Part 8. Kaliningrad: BFFSA Publish.
- Podkorytova A.V., Roshchina A.N., Kotelnikova L. Kh. 2021. Integrated technology for the production of sodium alginate, fucoidan-containing concentrates and food products from *Saccharina japonica* // Coll. abstracts of participants of the pool of scientific and practical. conf. Kerch: KGMTU. P. 229–233.
- Repina O.I. 2005. Substantiation and development of the technology of biologically active substances from fucus algae of the White Sea. Abstract of the thesis. dis. ... cand. tech. sciences. M.: VNIRO. 24 p.
- Rybakina O. Yu., Lopatina K.A., Safonova E.A., Efimova L.A. 2014. Prospects for the use of sodium alginate with different molecular weights in the complex therapy of malignant neoplasms // Bulletin RSC RAMS. No. 5 (99). P. 63–67.
- Urvantseva A.M., Bakunina N. Yu., Kim N. Yu., Isakov V.V., Glazunov V.P., Zvyagintseva T.N. 2004. Isolation of purified fucoidan from a natural complex with polyphenols and its characteristics // Chemistry of vegetable raw materials. № 3. P. 15–24.
- Usov A.I. 2018. Features of the structural analysis of sulfated polysaccharides // Fundamental glycobiology. Coll. of materials IV Russian conf. / ed. S.G. Litvinets. Kirov: Vyatka State University. P. 160–161.
- Usov A.I., Bilan M.I. 2009. Fucoidans – sulfated polysaccharides of Brown Algae // Advances of Chemistry. V. 78. № 8. P. 846–862.
- Usoltseva R.V., Zvyagintseva T.N., Ermakova S.P. 2019. Structural diversity of brown algae laminarans, prospects for their use // Bulletin of the FEB RAS. № 5 (207). P. 84–89. DOI 10.25808 / 08697698.2019.207.5.010.
- Ushakova N.A., Morozovich E.E., Ustyuzhanina N.E., Bilan M.I., Usov A.I., Nifant'ev N.E., Preobrazhenskaya M.E. 2008. Anticoagulant activity of fucoidans from brown algae // Biomedical chemistry. V. 54. № 5. P. 597–606.
- Khotimchenko S.V. 2003. Lipids of macrophyte algae and grasses. Structure, distribution, analysis. Vladivostok: Dalnauka. 230 p.
- Shtilman M.I., Podkorytova A.V., Nemtsev S.V., Kryazhev V.N., Peshekhonova A.L., Sdobnikova O.A., Panov A.V., Svitzov A.A., Frumin L.E., Ivankin A.N., Volova T.G., Zhila N.O., Shishatskaya E.I., Istranov L.P., Istranova E.V.,

- Sakvarelidze M. A., Gusarov D. A., Berkovsky A. L., Podgorsky V. S., Kovalenko E. A. 2015. Technology of Biopolymers for Biomedical Purposes. Natural Polymers. Moscow: BINOM Knowledge Laboratory. 328 p.
- Afonso N.C., Catarino M.D, Silva A.M.S., Cardoso S.M. 2019. Brown Macroalgae as Valuable Food Ingredients // *Antioxidants*. Vol. 8. № 9. P. 365. DOI 10.3390/antiox8090365.
- Ariedea M.B., Candido T.M., Morocho J.A L, Robles V.M.V, de Carvalhob J.K.M, Babya A.R. 2017. Cosmetic attributes of algae: A review // *Algal Research*. 25. P. 483–487. DOI:10.1016/J.ALGAL.2017.05.019.
- Ayrapetyan O.N., Zhurishkina E.V., Lebedev D.V., Kulminskaya A.A., Lapina I. M., Obluchinskaya E. D., Skorik Y. A. 2021. Antibacterial properties of fucoidans from the brown algae *Fucus vesiculosus* L. of the Barents Sea // *Biology*. T. 10. № 1. P.1–17. DOI 10.3390/biology10010067.
- Cardozo K.H.M., Guaratini T., Barros M.P., Falcão V.R., Tonon A.P., Lopes N.P., Campos S., Torres M.A., Souza A.O., Colepicolo P., Pinto E. 2007. Metabolites from algae with economic impact // *Comp. Biochem. Physiol. Part C*. № 146. P. 60–78.
- Church F.C., Meade J.B., Treanor R.E., Whinna H.C. 1989. Antithrombin activity of fucoidan // *J. biol. Chem*. 264: P. 3618–3623.
- Collic S., Fischer A.M., Tapon-Brethaudiere J., Boisson C., Durand P, Jozefonvicz J. 1991. Anticoagulant properties of a fucoidan fraction // *Thromb. Res*. 64: P. 143–154.
- Erpel F., Mateos R., Peres-Kimenez J., Peres-Correa J. 2020. Phlorotannins: From isolation and structural characterization, to the evaluation of their antidiabetic and anticancer potential // *Food Res Int*. Nov;137:109589. DOI:10.1016/j.foodres.2020.109589.
- Fitton J.H., Park A.Y., Karpiniec S.S., Stringer D.N. 2021. Fucoidan and Lung Function: Value in Viral Infection // *Mar Drugs*. 19, 4, 7 p.
- Graufel V, Kloareg B, Mabeau S, Durand P, Jozefonvicz J. 1989. New natural polysaccharides with potent antithrombic activity: fucans from brown algae // *Biomaterials*. 10: P. 363–368. DOI: 10.1016/0142–9612(89)90127–0.
- Kordjazi M., Etemadian Y., Shabanpour B., Pourashouri P. 2019. Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of fucoidan extracted from two species of brown seaweeds (*Sargassum ilicifolium* and *S. angustifolium*) around Qeshm Island // *Iranian J. of Fisheries Sciences*. C. 18(3). P. 457–475. DOI: 10.22092/IJFS.2018.115491.
- Matou S., Helley D., Chabut D., Bros A., Fischer A-M. 2002. Effect of fucoidan on fibroblast growth factor-2-induced angiogenesis in vitro // *Thromb. Res*. 106: P. 213–221. DOI: 10.1016/s0049–3848(02)00136–6.
- Mekinic I.G., Skroza D., Simat V., Hamed I., Cagalj M., Percovic Z.P. 2019. Phenolic Content of Brown Algae (Phaeophyceae) Species: Extraction, Identification, and Quantification // *Biomolecules*. Jun 22; 9(6): 244 p. DOI:10.3390/biom9060244.
- Nguyen P.H., Choi I-W., Kim S-K., Jung W.K. 2011. Immune regulatory effects of phlorotannins derived from marine brown algae (Phaeophyta) // *Handbook of marine macroalgae: Biotechnology and Applied phycology*. Chichester, U.K.: John Wiley & Sons. P. 340–343. DOI:10.1002/9781119977087.ch17.
- Ragan M.A., Glombitza K.V. 1986. Phlorotannins, brown algal polyphenolics // *Progress in Phycological Research*, Bristol. V. 4. P. 129–241.
- Richards C., Williams N.A., Fitton, J.H., Stringer D.N., Karpiniec S.S., Park A.Y. 2020. Oral fucoidan attenuates lung pathology and clinical signs in a severe influenza A mouse model // *Mar Drugs*. 18, 246. 10 p. DOI:10.3390/md18050246.
- Rodriguez-Amaya D.B. 2001. A guide to carotenoid analysis in foods // Printed in the United States of America. 64 p.
- Salvador N., Garreta A.G., Lavelli L., Ribera M.A. 2007. Antimicrobial activity of Iberian macroalgae // *Sci. Mar*. № 71. P. 101–113. ISSN: 0214–8358.
- Silva A., Rodrigues C., Garcia-Oliveira P, Lourenço-Lopes C., Silva S.A, Garcia-Perez P, Carvalho A.P, Domingues V.F., Barroso F., Delerue-Matos C., Simal-Gandara J., Prieto M.A. 2021. Screening of Bioactive Properties in Brown Algae from the Northwest Iberian Peninsula // *Foods*, 10, 1915. 15 p. DOI:10.3390/foods10081915.
- Smit A.J. 2004. Medicinal and pharmaceutical uses of seaweed natural products: A review // *J. Appl. Phycol*. № 16. P. 245–262. DOI:10.1023/B: JAPH.0000047783.36600.ef.
- Thomas NV, Kim Se-K. 2011. Potential pharmacological applications of polyphenolic derivatives from marine brown algae // *Environmental Toxicology and Pharmacology*. V. 32. Is. 3. P. 325–335. DOI: 10.1016/j.etap.2011.09.004.

Поступила в редакцию 15.12.2021 г.

Принята после рецензии 21.12.2021 г.

Экономика, международное сотрудничество и нормативные правовые основы рыбохозяйственной деятельности

Организационное развитие и управление экономикой рыбохозяйственного комплекса

К.В. Колончин, О.И. Бетин, В.Д. Рудашевский

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

Цель работы разработать и обосновать пути развития и варианты управления экономикой рыбохозяйственного комплекса.

Используемые методы: монографический, метод научной абстракции, логического и системного анализа позволили определить высокий координационный потенциал системы управления рыбохозяйственного комплекса, формирование которого требует соответствующих организационных усилий.

Элемент новизны – функционирование и динамика дальнейшего развития рыбохозяйственного комплекса (РХК) в современных условиях во многом будут определяться совершенствованием механизма управления, своевременным внедрением новых отвечающих времени организационных форм.

Результаты исследования заключаются в определении принципиального отличия кластерных объединений от других крупных комплексов или холдингов, которое состоит в их неоднородности: при формировании кластера принимаются во внимание либо функциональные особенности, либо финансовые возможности, либо отраслевая принадлежность, либо территориальная расположенность.

Практическая значимость состоит в возможности применения таких новых форм организации управления как кластеры и платформы, с точки зрения их потенциальных возможностей для решения задач РХК. Более детально рассмотрена перспектива применения платформенной модели при участии РХК в международном разделении труда и торгово-промышленной кооперации.

Ключевые слова: организация управления, кластер, платформенная экономика, цифровизация, технологическая модернизация, информационный поток, рыбохозяйственный комплекс.

Organizational development and economic management of the fishery complex

Kirill V. Kolonchin, Oleg I. Betin, Vladimir D. Rudashevsky

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

The purpose of the work is to develop and substantiate the ways of development and options for managing the economy of the fishery complex.

The monographic methods used, the method of scientific abstraction, logical and system analysis made it possible to determine the high coordination potential of the RHC management system, the formation of which requires appropriate organizational efforts.

An element of novelty – the functioning and dynamics of the further development of the fishery complex (FHC) in modern conditions will largely be determined by the improvement of the management mechanism, the timely introduction of new organizational forms that meet the times. heterogeneity: when forming a cluster, either functional features, or financial capabilities, or industry affiliation, or territorial location are taken into account.

The practical significance lies in the possibility of using such new forms of management organization as clusters and platforms from the point of view of their potential for solving the tasks of the RCS. The prospect of using the platform model with the participation of the RHC in the international division of labor and trade and industrial cooperation is considered in more detail.

Keywords: management organization, cluster, platform economy, digitalization, technological modernization, information flow, fishery complex.

ВВЕДЕНИЕ

Глобальные изменения, происходящие в последние годы в мировом сообществе и несущие с собой негативные, а подчас и катастрофические последствия – от парникового эффекта до пандемии, предъявляют повышенные требования к национальным социально-экономическим системам и принятию новых

адекватных защитных мер не только компенсирующих возникающие потери и потенциальные угрозы, но и обеспечивающих дальнейшее многовекторное, масштабное развитие страны. В политическом плане это привело к внесению принципиальных поправок в действующую Конституцию, а в экономической сфере – к выдвижению перспективных приоритетов

в совокупности национальных целей и формированию реализующих их многофакторных проектов и программ.

Эти меры в той или иной степени затронут функционирование всех без исключения элементов социально-экономической системы, но наиболее существенным образом – органов управления государственного, регионального, муниципального и хозяйственного уровней, предъявляя повышенные требования к эффективности их деятельности.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Принимая во внимание место, которое рыбохозяйственный комплекс занимает в экономике страны, в обеспечении её продовольственной безопасности и полноценного удовлетворения потребностей населения, а также участия в международном разделении труда на конкурентном мировом рынке, самого пристального внимания заслуживает организация работы по совершенствованию системы управления РХК, её функционала, организационных структур и форм, методов принятия решений, внедрения наилучших доступных технологий и стимулирования инвестиций в рамках современной экономической политики.

Надо признать, что вообще вхождение рыбохозяйственного комплекса в рыночную экономику на ранней стадии было связано с бессистемной модернизацией управления и чехардой кадров. Уже один тот факт, что за довольно короткий промежуток времени в нём неоднократно менялся весь руководящий корпус, начиная с первого лица, говорит об отсутствии понимания действующих механизмов управления функционированием и развитием чрезвычайно специфической мегаструктуры рыбохозяйственной экономики и методологии её реформирования.

Достаточно обратить внимание только на сложный состав этой мегаструктуры, которая выполняет целый комплекс хозяйственных и административных функций: ресурсные (океаническое, морское, речное рыболовство, воспроизводство биоресурсов), перерабатывающие (рыбоконсервная, кормодобывающая, пищевая отрасли промышленности), торговые (на внутреннем и внешнем рынках), логистические (все виды транспорта) и даже изыскательно-поисковые. Естественно, всё это наложило отпечаток на становление и последующее развитие рыбохозяйственного комплекса на современном этапе.

Сегодня уже стало очевидным, что осуществление всего этого функционала рассчитано на высокий координационный потенциал системы управления РХК, формирование которого требует соответствующих организационных усилий. Самыми распространёнными

и устойчивыми тенденциями в организационном развитии российской экономики (и не только российской) в настоящее время стали координационно-интегративные модели управления, получившие наименование кластеров и технологических платформ. Чаще всего, первая из названных форма ориентирована на организацию тесного взаимодействия региональных производственных систем и власти, имея своей целью обеспечение реализации своих планов развития за счёт согласования использования своих ресурсов (в т.ч. административных). На довольно большом промежутке времени именно эта форма давала заметные результаты, поскольку ключевой особенностью российской экономики была её пространственная связность.

По мере распространения кластерной политики в региональной и отраслевой системах управления стала обостряться проблема расширения организационного потенциала в сторону обеспечения не только административного, но и экономического объединения усилий науки, производства, инноваций, торговли на базе разработки и внедрения передовых технологий. Так возникли технологические платформы. Прежде всего, они стали активно использоваться в процессе совершенствования корпоративного управления многих крупных бизнес-структур. Специализированных технологических платформ уже насчитывается несколько десятков, включая транснациональные в рамках ЕАЭС.

Считается общепризнанной концепция, о том, что современная экономика совсем недавно пережила 3-ю, и стоит на пороге 4-й промышленной революции. Она характеризуется как «технологическая революция», в основе которой лежат пространственно распределённые гибкие производственные системы, выпускающие с помощью компьютерных технологий уже не массовую, а глубоко кастомизированную, т.е. ориентированную на учёт индивидуальных запросов потребителя продукцию [Марш, 2013].

Для РХК потребность в кастомизации проявляется в том, что сейчас две трети рыбной продукции реализуются на внутренних товарных рынках в замороженном виде [Колончин и др., 2021 а], оставшаяся часть – как полуфабрикат или готовая к потреблению продукция, что предполагает потребность в большом увеличении объёмов её производства и разнообразии ассортимента. Обеспечение этого разнообразия требует значительного расширения полей применения инновационных платформ.

Скажем, для изучения Мирового океана, в том числе в рыбохозяйственных целях, космические технологии в нашей стране стали применяться ещё

в начале 1970-х гг. [Колончин и др., 2021б]. Со следующего года запланировано проведение Большой Черноморской экспедиции, где предусматриваются получение и анализ снимков со спутников с помощью искусственного интеллекта без участия людей. Задачей будет преломить всю эту информацию через призму финансовой и экономической эффективности, трудовые ресурсы.

У этого направления будет большое будущее. По данным ведущего мирового аналитического агентства Euroconsult к 2028 г. планируется запустить более 8500 спутников, а Россия — более 600 спутников перспективной системы «Сфера» [Колончин и др., 2021в; Российская газета¹].

Достаточно острая для рыбопромыслового комплекса проблема увеличения длительности сохранения доброкачественности улова может найти решение с помощью применения технологии деконтаминации рыбных ресурсов, которая разработана в системе организаций Росатома. Пока что она применяется в порядке экспериментального апробирования (г. Новосибирск), в то время как за рубежом уже нашла достаточно широкое практическое использование.

По существу, такую же проблему решают ультрафиолетовое облучение и технология термоусадочной плёнки для упаковки скоропортящихся пищевых продуктов, применяемые в России в объёмах, заметных на мировом рынке.

Или возьмём другую функцию отраслевого управления: логистика рыбной продукции всё ещё опирается на традиционные методы организации её доставки от производителя к потребителю. Между тем, цифровизация как ведущая тенденция развития информационных технологий, в том числе технологии блокчейна, которые способствуют значительному ускорению процесса товарного планирования и сохранения качества продуктов. Она охватывает всё более широкий фронт применения, включая процессы снабжения, обеспечивая оптимизацию основных её составляющих идентификацию товара, сопровождение его в пути, хранение и реализацию в торговле. Эти же цели преследует и разработанная Ассоциацией организаций продуктового сектора совместно с Россельхознадзором программа телеметрического контроля на базе космической системы «Эра-Глонасс».

Есть все основания полагать, что инновационное развитие в перспективе станет не исключительным, а органическим качеством любой производственной системы. Достаточно только упомянуть одну глобаль-

ную тенденцию — включение в структуру производственных отношений искусственного интеллекта, чтобы понять сложность технологического проектирования. Компания DHL ещё в 2018 г. презентовала большое исследование на эту тему.

Проблема внедрения принципиально новых технологий состоит в том, что их применение не может осуществляться параллельно действующей системе управления, поскольку требует других знаний, умений, организационных связей, иных функционалов, согласований и соподчинений. Более того, каждый вид деятельности рассчитывает на целевое финансирование, имеет свою степень инвестиционной привлекательности, специфику профессиональных кадров. По данным опроса, проведённого Институтом Гайдара (ИЭП), 81% топ-менеджеров промышленных предприятий заявили, что основной помехой импортозамещению оборудования и технологий остаётся отсутствие российских аналогов любого качества. Вывод из констатации этой ситуации возможен один — возникает острая потребность в отказе от стандартных и введении разнообразных новых организационных форм.

Главная их особенность выражена в приспособленности к обработке значительного объёма информационных потоков, имеющих множественный характер источников — как внутренних, так и внешних. Именно организация обработки этих потоков приобретает характер платформы, на которой формируются составы ранжированных данных, характеристик, критериев и показателей, из которых формулируются управленческие решения. Безусловно, оптимизации этих решений легче добиться, за счёт более качественной информации, поддающейся цифровизации. Так, при совершенствовании системы управления ключевой проблемой стала цифровизация.

В последние годы этот инструмент решения острых проблем экономического развития приобрёл характер многообещающей панацеи, способной сказочно избавиться чуть ли не ото всех (правда, кроме пандемии) тупиковых ситуаций, затрудняющих обеспечение роста эффективности в развитии всей социально-экономической системы. Однако, вот на что нужно обратить внимание, а не энтузиазм увлечения новомодным лозунгом «цифровизация» в основном сводится к трансформации систем управления от государственного до корпоративного, сводящей весь процесс принятия решений к выбору оптимизированного варианта из результатов компьютерной обработки информационных потоков. Ключевая задача организации управления состоит в обеспечении полноты достоверной информации, характеризующей в цифровой форме все взаимодействия и отношения

¹ Российская газета: Инновации. 26 ноября 2021 г.

в управляемой системе как реальные, так и виртуальные, что позволяет рассчитывать вероятностные варианты развития вплоть до критических.

Между тем, главное в этой глобальной программе — разработка и внедрение информационных алгоритмов технологий и производства, и управления. Хотелось бы обратить внимание на обсуждение широким кругом авторитетных экспертов, состоявшееся в 2020 г., где прозвучал (пожалуй, впервые) вывод о том, что эффект от цифровизации в промышленности преувеличен — необходима «масштабная технологическая модернизация в базовом ядре промышленности, которая усилит внедрение новых технологий» [Акиндинова и др., 2020]. Б.А. Хейфец [2020], анализируя технологическое возвышение Китая заметил: «Учитывая возросший уровень своего технологического развития, Китай стал активно продвигать цифровую инициативу», а не наоборот, как это пытаемся сделать мы.

Вот почему нельзя недооценивать или тем более — не уделять внимание проблемам в управлении экономикой РХК. Между тем, ярким подтверждением сложившейся недооценки вклада рыбохозяйственного рынка в экономический рост страны стала практика формирования национальных проектов, реализующих директивно поставленные, как и прежде, национальные цели. Среди 12 из них, и даже среди их дополнения в числе 42 программ, не нашлось места для рыбного хозяйства. Между тем, при оценке влияния РХК на выполнение бюджетных задач надо учитывать и мультипликативный эффект от его развития, складывающийся из тесной связи, вплоть до предопределённости, условий успешного функционирования с целым рядом отраслевых заказов в судостроении, транспорте, торговле и даже здравоохранении.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ

Развитие социально-политических систем нацелено на обеспечение соответствующего экономического роста. А это, в свою очередь, инициирует усиление управленческого потенциала, вложенного в новые организационные рамки. Так возникает объективный запрос в организационных инновациях. Тем самым институциональное обновление становится необходимым условием обеспечения достижения интенсивного общественного развития в целом и его экономического базиса в частности. В работах современных экономистов-теоретиков это положение стало основополагающим в объяснении сути ключевых детерминантов этой прогрессивной динамики [Акиндинова и др., 2020].

Многие из них уже нашлись, правда, в решении родственных отраслевых и региональных задач. Специфичной для РХК является потребность в организа-

ции тесного и продуктивного взаимодействия значительного объёма разнонаправленных функциональных структур. Для подобных, весьма распространённых в хозяйственном управлении задач разработана соответствующая форма — кластеры.

Кластер, как известно, представляет собой локальную, внутренне связанную структуру, которая объединяет предприятия и организации с целью обеспечения их согласованного развития на конкурентных рынках. Пожалуй, принципиальное отличие кластерных объединений от других крупных комплексов или холдингов состоит в их неоднородности: при формировании кластера принимаются во внимание либо функциональные особенности, либо финансовые возможности, либо отраслевая принадлежность, либо территориальная расположенность. Ключевое значение при этом имеет оценка потенциального вклада в обеспечении суммарной (интегральной) конкурентоспособности [Слипенчук, 2009].

Кластеры призваны решать такие задачи, как:

- установление между компаниями экономических и научно-технических связей;
- сочетание отношений кооперации между компаниями с отношениями конкуренции, стимулирующей непрерывный инновационный поиск в интересах повышения эффективности и укрепления конкурентных преимуществ;
- возникновение значительного и устойчивого спроса на продукцию большого числа компаний, работающих в одной отрасли, в близких отраслях, объединённых сходными технологическими процессами, либо в отраслях, объединённых вертикальными хозяйственными связями;
- «притяжение» поставщиков услуг (финансовых, консалтинговых, научно-образовательных, логистических и т.д.), необходимых функционирующим в рамках кластера компаниям.

Внимательный взгляд на перечисленные выше условия позволяет сделать два важных вывода, которые уже давно и прочно вошли в мировую практику экономической политики. Во-первых, невозможно создать кластеры, «принуждая» компании начинать совместную работу путём использования административных рычагов без учёта реальных перспектив осуществления соответствующих видов хозяйственной деятельности. И, во-вторых, тот факт, что несколько компаний конкретной отрасли используют или ориентируются на одни технологии, ещё не означает, что эти компании будут формировать реальный кластер — для этого нужно как развитие сотрудничества между этими компаниями, так и включение в кооперацию компаний сектора услуг.

Между прочим, в системе управления такими структурами коррупционная среда практически отсутствует — слишком много заинтересованных субъектов в общих результатах деятельности, а дележ преференций слишком прозрачен, поскольку отягощен высокими рисками (достигнут своей цели или нет разработчики, производственники, продавцы и т.п. — зараннее не известно).

Поддержка со стороны государства таких функциональных кластеров позволила бы решить ещё одну чрезвычайно важную задачу: привлечение к формированию и реализации отраслевых программ развития региональной власти. Это особенно важно в настоящее время, когда складывается тенденция децентрализации системы госуправления, согласно обновлённой Конституции РФ. Ст. 5 основного Закона страны устанавливает (закрепляет) **единство** (выделено нами — К.К., Б.О., Р.В.) публичной власти, которое предполагает согласованное действие различных уровней власти в интересах населения. Это означает, что руководствуясь Законом о промышленной политике в РФ, действующим с 2015 г. (ст. 20), в частности, региональная администрация заинтересуется созданием регионального кластера, его статус ни в чём не будет уступать кластеру федерального уровня, получая государственную поддержку, включая финансовую, путём субсидирования, т.е. получать дешёвые ресурсы.

Правда, в настоящее время такая практика всё ещё не получила широкого распространения — возможно, ситуация изменится с принятием детализирующего конституционные положения Закона «О единой системе публичной власти»,² проект которого внесён в Госдуму. Учитывая его структуру, состоящую из 11 глав и 65 статей, можно рассчитывать, что удастся не только зарегулировать, но и простимулировать формирование активной региональной политики промышленного развития не в качестве исключительно полигона особых инициатив, а полноценного освоения имеющегося пространственного, природного, производственного, кадрового потенциала. Было бы, наверное, полезно аналогичным образом детализировать KPI губернаторов (которые теперь будут называться главами регионов) и даже мэров городов (их пока не переименовывают), включив динамику показателей организационно-экономического развития как региональных и межрегиональных хозяйств, так и вклада в общефедеральный рост.

² Госдумой принят в третьем чтении проект нового Закона о региональной власти. Российская газета, 2021. Доступно через: <https://rg.ru/2021/09/27/v-gosdumu-vnesen-proekt-novogo-zakona-o-regionalnoj-vlasti.html> 28.09.2021.

Учитывая специфику РХК, в котором сырьевая база в значительной мере находится за пределами отечественных водных и торговых ареалов, кластерная политика предоставляет возможность формирования **международных** кластеров.

Принимая во внимание вышеприведённую аргументацию и имеющийся опыт, распространить этот подход в развитии РХК представляется не только возможным, но и просто необходимым для интенсификации его развития. Зададимся прямо вопросом — получил он какой-либо значимый эффект от вхождения России в такие объединения как СНГ или ЕАЭС, не говоря о ШОС, БРИКС или Зоны свободной торговли? Сомневаемся. Скажем так, из 92 проектов, находящихся в портфеле российско-китайской межправительственной комиссии — рабочего органа ШОС, ни один прямо или косвенно не связан с развитием РХК, в том числе логистики или торговли. Между тем, уменьшение в 2021 г. поставок минтая на китайский рынок создало для российских рыбопромышленников серьёзные проблемы.

По нашему мнению, отрицательный опыт связан с тем, что все принципиальные и даже конкретные вопросы отнесены к высшему уровню госуправления, где номенклатура решений слишком разнообразна и обременена обилием специфических интересов национальных экономик. Например, опрос предпринимателей России, проведённый РСПП, насчитал более 200 (!) барьеров в развитии хозяйственно-торговых связей в ЕАЭС. Перенос центра тяжести организации экономического сотрудничества на средний уровень субъектов экономической деятельности и деловых кругов в целом позволил бы значительно упростить процедуру совместной деятельности, в том числе и путём использования соответствующих целей и задачам организационных форм управления, не ограничивая свой выбор.

Надо полагать, кластерная форма не получила бы такого широкого распространения, как сейчас, если бы не позволяла успешно решать задачу колоссальной важности — повышение приспособляемости к изменению рыночной конъюнктуры и усиление возможности привлечения значительных ресурсов (материальных, финансовых, трудовых) даже при дефиците ресурсообеспеченности каждого отдельно работающего участника.

Именно особым уровнем целеполагания и программирования целереализации можно оправдать создание особой формы, но верно и обратное: существование новой формы целиком и полностью определяется уровнем целей и задач, для решения которых она привлекается. Исходя из этого, не трудно за-

метить, что слабым местом кластерных образований является их эксклюзивный характер по отношению к региональной системе управления.

Такая изоляция несёт в себе угрозу формирования своеобразной автаркической структуры, ориентированной в большей степени на саморазвитие, без прямого участия в реализации стратегических задач региона размещения основных факторов кластера. Тем самым они остаются в стороне от инвестиционных программ как регионального, так и федерального уровня, что безусловно отрицательно сказывается на эффективности решения общих экономических и социальных задач.

В связи с этим возникает объективная потребность в рассмотрении возможности использования ещё одной организационной формы, способной выполнять пространственно-экономическую интеграцию функций.

Казалось бы, почему нельзя решить эту задачу в рамках существующих организационно-правовых форм управления территориальным развитием? Объяснение достаточно простое — потребность и появление новых форм связаны, главным образом, с острой необходимостью преодоления инерционности законодательства и постоянно увеличивающимся количеством функциональных связей в системе госуправления. Новая форма позволит создать особый правовой режим, с помощью которого можно в достаточно короткий период времени организовать не только поступательное, но и прорывное движение к высоким показателям функционирования всего территориального комплекса.

Критическая оценка общего состояния организационного участия бизнеса в территориальном развитии не случайно свелась к измерению так называемой инвестиционной привлекательности как некоего комплексного показателя работы администрации. Любая экономическая деятельность начинается и развивается благодаря вложениям капитала, материальным ресурсам и труду. Интенсификация всех этих базовых составляющих функционирования каждого отдельно взятого субъекта экономики в конечном счёте положительно сказывается на росте показателей экономической деятельности и, прежде всего, на увеличении валового регионального продукта. Тем не менее, сводить всю совокупность факторов, влияющих на качество жизни и уровень развития всей территориальной системы, к этому показателю было бы большим преувеличением.

Эффективность рыбного хозяйства по своей специфике в значительной степени зависит от оптимального сочетания водного и сухопутного ареалов про-

изводственной деятельности, фундаментальные факторы которых в весьма значительной степени принадлежат региональной экономике: от судостроения до поставок продукта на продажу. Федеральная власть, находясь за пределами этой цепочки, тоже участвует в ней, выполняя стартовую функцию в виде распределения квот на вылов водных биоресурсов. Вот почему отрыв решения одних из них от других представляется в значительной мере причиной большого числа, мягко говоря, недостатков развития и рыбохозяйственного комплекса, и неразрывно географически связанных с ним региональных экономик.

Приходится констатировать, что, тем не менее, в разработанных и утверждённых стратегических документах — Стратегии пространственного развития РФ, Стратегии социально-экономического развития регионов и отраслей, Стратегии развития Арктической зоны и, наконец, Национальных проектах совмещение планов развития экономики в целом и рыбной отрасли, как правило, отсутствует. Мы полагаем, что одна из причин такого положения связана с отсутствием интегральной организационной формы, адекватной рыбохозяйственной специфике.

Пожалуй, самой заметной чертой общей картины, нарисованной этими документами, является отсутствие в явном виде иерархии приоритетов целей и задач. Оправдать такое непривычное нивелирование, затрудняющее исполнительному уровню выполнять свои функции, можно только тем, что в основе всех этих стратегий лежат одни и те же информационные массивы (хотя источники их одинаковые, но формируются они с разными целевыми ориентирами). Именно вследствие этого плановые и контрольные органы ввели понятие платформенной экономики, предпочитая регулировать и координировать именно информационные потоки, а не результаты текущей деятельности.

Как верно заметил проф. Дж. Брада³ (США), платформенные компании «вместо того, чтобы производить продукт, который они продают покупателям, они создают инфраструктуру, которая соединяет производителей и потребителей». В свою очередь, мы заметим, что есть такие отрасли, эффективность которых в значительной степени зависит от налаженного взаимодействия инфраструктурных партнёров и не в коммуникационном, а в производственно-технологическом смысле сотрудничества. При этом нередко в число активных участников системы взаимодей-

³ Брада Дж. Платформенные компании и глобальная экономика. — Эксперт, № 46, 2021. С. 9. Доступно через: <https://expert.ru/expert/2021/46/platformennyye-kompanii-i-globalnaya-ekonomika/> 23.10.2021.

ствий входят и посредники, как, скажем, в рыбохозяйственном комплексе компании, оказывающие транспортные услуги, перевозчики и дистрибьюторы, не говоря уж о структурах ресурсного обеспечения.

Несмотря на массовое распространение платформенной концепции, её общепринятого определения до сих пор нет. Не столько определение, сколько перспективные ожидания были сформулированы и опубликованы на сайте Минэкономразвития (27 октября 2010 г.), где платформы рассматриваются как коммуникационный инструмент, который должен обеспечить за счёт участия всех заинтересованных (бизнес, наука, государство, гражданское общество) активизацию в стране усилий по созданию перспективных коммерческих технологий и новых продуктов (услуг) по привлечению дополнительных ресурсов для проведения исследований и разработок, по совершенствованию нормативно-правовой базы в области научно-технологического, инновационного развития сторон.

В это же время были приняты соответствующие нормативные документы, в соответствии с которыми, кстати говоря, решение о создании отраслевой платформы принимается не каким-либо ведомством или отраслевым министерством, а самим Правительством, Комиссией по высоким технологиям и инновациям.

Считается, что принципиальную особенность платформы составляет информационная природа процессов формирования и функционирования её как институциональной структуры. Даже образование, наиболее консервативный с организационной точки зрения институт, тоже стали предлагать рассматривать под углом зрения подготовки нового трудового поколения к работе в условиях платформенной экономики, гарантирующей гибкую занятость. Смысл, однако, в том, чтобы соединить в едином ключе организационные задачи партнёров по достижению общих целей.

Из известных оценок места платформ в экономике, с нашей точки зрения, наиболее точной и охватывающей наиболее широкое поле применения платформенной организации управления является характеристика, данная ЦБ России: «Переход к платформенной экономике, наблюдаемый в настоящее время практически на всех мировых рынках, является естественным следствием совокупности нескольких факторов: это накопленные технологические изменения, совершившие качественный переход от этапа прорыва к этапу практического внедрения, запрос на изменение и снятие географических барьеров со стороны спроса, исчерпание возможностей традиционных биз-

нес-моделей, в первую очередь, с точки зрения маржинальности бизнеса и генерации привычного роста дохода акционеров. Особенности платформенной бизнес-модели, эксплуатирующие в равной степени как технологические, так и поведенческие изменения, могут привести к качественной перестройке бизнеса»⁴ (подчёркнуто нами — К.К., О.Б., В.Р.)

Под углом зрения организации управления принципиальная особенность платформенной модели состоит в функционале, который нацелен на обеспечение не только административного, но и экономического объединения усилий науки, производства, торговли на базе разработки и внедрения передовых технологий. Вышеприведённая пара примеров детерминации понятия платформы позволяет выделить их существенные особенности: по одной из них — коммуникационно-технологические, по другой — организационно-экономические.

Кроме того, вхождение в состав платформы абсолютно не зависит от размера актива участника, а определяется степенью его технологического вклада в интегральный результат. Это позволяет в полной мере использовать механизм частно-государственного партнёрства (ГЧП). За рубежом ГЧП рассматривается как способ привлечения ресурсов и опыта управления бизнеса к решению проблем, относящихся к ведению государства. В России ГЧП рассматривается как способ привлечения бюджетных ресурсов к решению проблем бизнеса. Гораздо продуктивнее рассматривать его как инструмент организации согласованной (управленческой, производственной, научно-технической, инновационной, сбытовой, сервисной) деятельности государственных и бизнес-структур на рынках. Платформенная организация как раз и ориентирована на эту функцию.

Это особенно актуально для целей развития РХК, где уровень государственных интересов особенно высок, а интересы бизнеса играют дополнительную роль. По существу, единственным способом привлечения бизнеса к решению задач, стоящих перед государственным комплексом, является участие частных компаний и корпораций в тендерах на выполнение госзаказа.

Только на первый взгляд кажется, что конкурсный порядок обеспечивает преобладание конкурентных преимуществ в реализации задач, представляющих государственный интерес. Между тем, далеко не каждая производственная структура, отвечающая

⁴ «Экосистемы: подход к регулированию». Доклад для общественных консультаций. Банк России, апрель 2021. Доступно через: https://www.cbr.ru/content/document/file/119960/consultation_paper_02042021.pdf 15.10.2021.

формальным требованиям тендера, способна реально и, самое главное, эффективно выполнить заказ на поставку продукта, особенно с учётом лабильности внешних природных условий. Возникает необходимость введения в практику по аналогии с оборонно-промышленным комплексом пролонгированных тендерных закупок тех или иных товаров и товарных групп на весь срок их конструкционного функционала, что безусловно удобнее и эффективнее использовать в рамках платформенных образований.

В них естественно применять консолидационные производственные цепочки, позволяющие генеральным исполнителям госзаказа включать в число соисполнителей организации, накопившие большой положительный опыт сотрудничества.

Не случайно ведущие эксперты на встрече в Давосе-2019 заявили, что в новой экономике будут лидировать платформенные решения. Защищая создание новой формы для РХК, мы, как совокупности разнопрофильных взаимодополняющих видов деятельности, полагаем, что в конечном виде это должно выражаться в конкретных интегральных показателях — балансе ресурсов и использования рыбы и рыбопродуктов, а также вклада отрасли в доходную часть бюджета страны. Отличительной чертой платформ является их ориентация на технологическое развитие и производства, и инфраструктуры, и управления — они не только потребляют имеющиеся на рынке технологии (иногда не совсем точно называемые доступными), но и сами их создают, так что иногда их именуют технологическими — именно так названы вышеупомянутые.

Получили распространение и финансовые платформы, регистрируемые Центробанком РФ. Они рассматриваются как инфраструктурные организации финансового рынка, предоставляющие решения по дистанционному привлечению и обслуживанию клиентов. Обращение к платформе открывает им возможность получения банковских продуктов, прежде всего, депозитов, кредитов и даже корпоративных ценных бумаг, а также сопутствующих услуг без посещения банка и даже не имея там счёта. Это не просто создаёт удобство и сокращает затраты времени, но и, самое главное, значительно расширяет доступность финансовых продуктов и получение их в одном месте (маркетплейсе) с гарантией надёжности. Более того, сам Центробанк для расчётов через так называемый цифровой рубль планирует создать специальную платформу⁵ [13].

⁵ Литова Е. 9 трлн из банков в цифровой рубль. Ведомости. Доступно через: <https://www.vedomosti.ru/finance/articles/2021/11/01/893920-iz-bankov-posle-vnedreniya-tsifrovogo-rublya-mozhet-utech-9-trln> 02.11.2021.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Платформенное конструирование в РХК имеет не только общеэкономическое значение, вписывающее отраслевое управление в комплекс политико-управляющих мер, предпринимаемых для обеспечения социально-экономического развития страны в целом и её регионов. Эта организационная форма позволяет систематизировать решение прикладных задач развития от ближайшего будущего до перспективного уровня.

Скажем, глобальная климатическая проблема, захватившая весь верхний уровень управления — национального и мирового, для рыбной отрасли имеет не теоретический, а самый непосредственно прикладной фактор. Точно так же и проблемы воспроизводства биоресурсов, развития технологии аквакультуры, разработка новых технологий добычи водных биологических ресурсов и инструментальных методов их учёта инновационного значения (беспилотных летательных аппаратов и искусственного интеллекта) — всё это, будучи сфокусированным на технологической платформе, позволит упростить все необходимые организационные, экономические и трудовые связи, а также оптимизировать распределение финансовых средств и сократить так называемые непроизводственные расходы и потери. И самое главное — привлечь к работе квалифицированных специалистов и известных учёных, не связанных с ведомственной принадлежностью.

Сырьевой фундамент, на котором годами и десятилетиями строились все расчёты социально-экономического развития страны, в современных условиях оказался слишком зыбкой основой для того, чтобы достаточно уверенно смотреть в завтрашний день. Стимулировать и заинтересовывать бизнес в активном участии в реализации федеральных, отраслевых, региональных и корпоративных программ при благоприятствующих условиях экономического регулирования можно без каких-либо дополнительных усилий: такие проекты обладают значительным мультипликативным эффектом и позволяют существенным образом снизить издержки производства товаров и услуг. Именно проектирование платформенных организаций способно решить эту проблему, в том числе в развитии рыбохозяйственного комплекса.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов.

Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

Финансирование

Работа выполнена по личной инициативе, без дополнительного финансирования.

ЛИТЕРАТУРА

- Акиндинова Н.В., Домбровский М., Широков А.А., Белоусов Д.Р., Воскобойников И.Б., Гурвич Е.Т. 2020. Перспективы восстановления экономического роста в России (По материалам круглого стола в рамках XXI Апрельской международной научной конференции НИУ ВШЭ) // Вопросы экономики. № 7. С. 5–50.
- Колончин К.В., Бетин О.И., Волошин Г.А., Горбунова М.А. 2021 а. Анализ цен рыбной продукции на внутрироссийском рынке // Труды ВНИРО. Т. 185. С. 113–119.
- Колончин К.В., Бетин О.И., Труба А.С., Яновская Н.В. 2021 б. 140 лет ВНИРО – флагману рыбохозяйственной науки России. С. 618–650. Рязань: Издательство ИП Коняхин (Book jet), 652 с.
- Колончин К.В., Семин А.Н., Бетин О.И., Труба А.С. 2021 в. Приоритеты в экономическом развитии ФГНБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» // Экономика сельского хозяйства России. № 7. С. 18–23.
- Марш П. 2015. Новая промышленная революция. Потребители, глобализация и конец массового производства. М.: Институт Гайдара. 420 с.
- Слипенчук М.В. 2009. Трансасийская система кластеров: геополитический форсайтинг. М.: Академкнига, 478 с.
- Хейфец Б.А. 2020. Технологическое возвышение Китая: новые вызовы для России // Вопросы экономики. № 6. С. 104–120.

REFERENCES

- Akindinova N. V., Dombrovski M., Shirov A. A., Belousov D. R., Voskoboinikov I. B., Gurvich E. T. 2020. Prospects for the recovery of economic growth in Russia (Based on the materials of the round table at the XXI April International Scientific Conference of the Higher School of Economics) // Economic issues. № 7. P. 5–50
- Kolonchin K. V., Betin O. I., Voloshin G. A., Gorbunova M. A. 2021 a. Analysis of the prices of fish products on the domestic Russian market // Trudy VNIRO V. 185. P. 113–119.
- Kolonchin K. V., Betin O. I., Truba A. S., Yanovskaya N. V. 2021 b. 140 years of VNIRO – the flagship of the fishery science of Russia. Ryazan: Publishing house IP Konyakhin (Book jet). 652 p.
- Kolonchin K. V., Semin A. N., Betin O. I., Truba A. S. 2021 c. Priorities in economic development FGNBU «Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography» // Agricultural Economics of Russia. No. 7, P. 18–23.
- Marsh P. 2015. New industrial revolution. Consumers, globalization and the end of mass production. M.: Gaidar Institute. 420 p.
- Slipenchuk M. V. 2009. Trans-Asian Cluster System: Geopolitical Foresighting. M.: Akademkniga. 478 p.
- Kheifets B. A. 2020. China's Technological Rise: New Challenges for Russia // Economic issues. No. 6. P. 104–120.

Поступила в редакцию 02.12.2021 г.
Принята после рецензии 14.12.2021 г.

Экономика, международное сотрудничество и нормативные правовые основы рыбохозяйственной деятельности

Трансформация контроля в рыбохозяйственном комплексе в условиях цифровизации

Е.М. Дусаева¹, А.С. Труба¹, А.Х. Курманова²

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

² Оренбургский государственный университет (ФГБОУ ВО «ОГУ»), пр-кт Победы, 13, Оренбург, 460018

E-mail: gachok_muslim@mail.ru

Цель работы — раскрытие влияния институциональной среды, создаваемой цифровизацией на трансформацию контроля в рыбохозяйственном комплексе, а также влияние этих изменений на методологические аспекты учёта и контроля.

Используемые методы монографический, метод научной абстракции, логического и системного анализа позволили выделить особенности контроля в цифровой среде, характеризовать внутрихозяйственные системы контроля, более эффективно выполняющие функции обратной связи и во времени совпадающие с государственным контролем.

Элемент новизны — развитие методологии трансформации контроля, обеспечиваемой цифровыми технологиями учёта, которые имеют многоцелевое назначение. Они могут быть использованы в рыбном промысле, в научных исследованиях, в принятии управленческих решений в хозяйственном и государственном управлении.

Результаты исследования является методологическая основа формирования внутрихозяйственных систем контроля в структурах рыбохозяйственного комплекса в цифровой среде, которая позволяет исключать потери водных биологических ресурсов и обеспечивает оперативность в принятии решений и действий.

Практическая значимость состоит в организации систем контроля разных уровней управления в едином информационном пространстве с сохранением информации для всех пользователей. Использование для контроля спутниковых технологий и коммуникаций позволяет оперативно выявлять ННН-промысел, повышать эффективность рыбного промысла и выполнение задач Стратегии развития рыбохозяйственного комплекса России.

Ключевые слова: бухгалтерский учёт, контроль, цифровизация, спутниковые технологии, единая информационная база рыбохозяйственной деятельности.

Transformation of control in the fisheries complex in the conditions of digitalization

Evgenia M. Dusaeva¹, Anatoly S. Truba¹, Aliya H. Kurmanova²

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

² Orenburg State University («OSU»), 13, Pobedy Ave., Orenburg, 460018, Russia

The aim of the work is to reveal the impact of the institutional environment created by digitalization on the transformation of control in the fisheries complex, as well as the impact of these changes on the methodological aspects of accounting and control.

The monographic methods used, the method of scientific abstraction, logical and system analysis made it possible to identify the features of control in the digital environment, to characterize on-farm control systems that more effectively perform feedback functions and coincide with state control in time.

An element of novelty is the development of a methodology for the transformation of control provided by digital accounting technologies that have a multi-purpose purpose. They can be used in fishing, in scientific research, in making managerial decisions in economic and public administration.

The results of the study are the methodological basis for the formation of on-farm control systems in the structures of the fisheries complex in a digital environment, which allows to exclude the loss of aquatic biological resources and ensures efficiency in decision-making and actions.

The practical significance consists in the organization of control systems of different levels of management in a single information space with the preservation of information for all users. The use of satellite technologies and communications for monitoring makes it possible to quickly identify IUU fishing, increase the efficiency of fishing and fulfill the tasks of the Development Strategy of the Russian Fisheries Complex.

Keywords: accounting, control, digitalization, satellite technologies, unified information base of fishery activities.

ВВЕДЕНИЕ

Трансформации в рыбохозяйственном комплексе с переходом к устойчивому развитию на основе цифровизации и научно-технических достижений в рыбопромышленной цепочке обуславливают ка-

чественные изменения в составе основных активов, а поиск путей эффективного использования производственного и природного потенциала вызывает потребность в новых компетенциях персонала. Создание современного рыбодобывающего флота, обновление

орудий лова, оборудования и технологий переработки водных биологических ресурсов на судах и прибрежных перерабатывающих организациях, создание инфраструктуры для хранения и быстрой доставки рыбной продукции на продовольственные рынки, её доведение до потребителя направлены на достижение целей Стратегии развития рыбопромышленного комплекса до 2030 года. В этой связи особую актуальность в управлении рыбохозяйственным комплексом имеют системы учёта и контроля добычи рыбных запасов, их переработка и дальнейшее использование.¹ Деятельность других структур, связанных с рыбопромышленным бизнесом (транспортных, логистических и торговых), представляет интерес для государственного и общественного контроля по соблюдению норм и стандартов пищевой ценности и безопасности рыбных товаров для потребителей.

Системный контроль рыбохозяйственной деятельности на базе новых инструментов цифровизации претерпевает существенные трансформации, которые на высоком уровне раскрывают полезную информацию для государственных структур надзора и регулирования и предупреждают субъектов хозяйствования от незаконных операций. Государственный контроль направлен на исключение ННН промысла и сохранение водных биологических ресурсов и среды их обитания для естественного воспроизводства рыбных запасов. 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. При этом контроль не только расширяет возможности органов государственного контроля и регулирования, но и благотворно влияет на организацию менеджмента в производственных структурах рыбохозяйственного комплекса.

Целью данного исследования является изучение трансформации контроля в новой институциональной среде, их влияния на информационную среду управления рыбохозяйственным комплексом.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.

В рыбохозяйственном комплексе России для выполнения задач Стратегии его развития до 2030 г., совершенствование системы контроля на всех этапах

производственной цепочки создания добавленной стоимости в соответствии с принципами устойчивого развития требует анализа методологии современного учёта и контроля. Опережающий экономический рост и достижение лидирующих позиций на мировых рынках продукции из водных биологических ресурсов возможен только при эффективном управлении, обеспечиваемый одной из самых действенных форм обратной связи управляемого объекта с управляющим субъектом — контролем.²

Термин «контроль» от французского «controle» в переводе означает «проверка», а также «наблюдение с целью проверки». В теории достаточно полно раскрыто содержание контроля. Это неотъемлемая часть системы регулирования, одна из форм обратной связи, благодаря которой субъект хозяйствования получает необходимую информацию о фактическом состоянии управляемого объекта. Это основа для принятия управленческих решений и применения механизмов воздействия. Контроль предполагает наблюдение за объектом и выполнением вменённых обязанностей ответственных управляющих и исполнителей, за следованием намеченному курсу действий по достижению установленных целей, а также регулирование в ходе выполнения планов. В системе регулирования и принятия решений контроль должен быть непрерывным во времени и действенным по мерам воздействия за нарушения. Отдельные процедуры (ревизия и аудит) оправданы при смене центров ответственности или изменениях в структурах управления. Многосторонняя интерпретация контроля состоит в раскрытии содержания. Контроль определяют как функцию управления, или вид деятельности, интерпретируют как процесс, или как систему, либо комплекс мер, обеспечивающих эффективность деятельности, сохранности активов, инструмент предотвращения угроз и рисков потерь.

В Федеральном законе «О бухгалтерском учёте» от 06.12.2011 г. № 402-ФЗ (статья 19) определено об обязанности экономического субъекта организовать и осуществлять внутренний контроль фактов хозяйственной жизни. Это ещё раз подтверждает важность контроля в управлении предприятием.³

В Лимской декларации⁴ руководящих принципов контроля сделан акцент на то, что контроль не явля-

² Там же.

³ Федеральный закон «О бухгалтерском учёте» от 06.12.2011 г. № 402-ФЗ.

⁴ Лимская декларация руководящих принципов контроля, Принята IX Конгрессом Международной организации высших органов финансового контроля (ИНТОСАИ) в г. Лиме (Республика Перу) в 1977 году.

¹ Распоряжение Правительства РФ от 26 ноября 2019 г. № 2798-р «Об утверждении стратегии развития рыбохозяйственного комплекса РФ на период до 2030 г. и плана мероприятий по её реализации. Стратегии развития рыбопромышленного комплекса до 2030 года».
// <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72972854/>

ется самоцелью, а контроль — это неотъемлемая часть системы регулирования. Цель — вскрытие отклонений от принятых стандартов и нарушений принципов, законности, эффективности и экономии расходования материальных ресурсов на как можно более ранних стадиях процессов для того, чтобы иметь возможность принять корректирующие меры, в отдельных случаях привлекать виновных к ответственности, обеспечить получение компенсаций за причинённый ущерб или осуществить мероприятия по предотвращению или сокращению таких нарушений в будущем [Шатров, 2011].

Лимская декларация была принята в 1977 году, а годом ранее М.К. Уэллс обосновал понятие учётных парадигм, которая согласуется теорией Т. Куна о парадигмах развития. Необходимость новой бухгалтерской парадигмы обусловлена мировыми тенденциями становления нового технологического уклада. Изменения в формах и содержании хозяйственной деятельности субъектов, которые стремятся к целям устойчивого развития, появление новых коммуникаций, потребность ускорения и расширения информационных возможностей учёта и контроля в цифровой экономике для разных уровней и видов управления направлено в будущее развитие общества [Воронина и др., 2019]. В настоящее время существуют рассуждения против бухгалтерского учёта и утверждения о том, что это не наука. Учёные приводят достаточно доказательств о развитии учётной мысли и методологии в историческом аспекте [Ковалёв, 2013]. Учёт в виде констатации хозяйственных фактов двойной записью на бухгалтерских счетах не позволяет предвидеть и управлять будущим субъекта. Но архаичность и косность учётно-аналитических и контрольных систем, которые приводятся как аргументы для искоренения учёта не верны и такие характеристики не имеют под собой научной и практической почвы. Учёт и контроль как важные элементы информационной системы хозяйствующего субъекта организуется в соответствии уровнем развития и потребностями управления экономической системы хозяйствования в конкретном периоде времени. В этой связи не лишним авторы считают напомнить мнение Я.В. Соколова, которое приведено в статье М.Л. Пятова «Мифология бухгалтерского учёта и развитие его теории и практики: «Если начать читать подряд бухгалтерские книги от Луки Пачоли до самых современных авторов, — писал Я.В. Соколов, — то можно прийти к выводу, что их авторы постоянно открывают одно и то же. Однако, — продолжал Ярослав Вячеславович, — это не совсем так. Смена взглядов, традиций, а тем самым и история учётной мысли, представляет собой как бы переход

от одной интеллектуальной парадигмы к другой, и (тут же подчёркивал он!) страшная ошибка подстерегает исследователя, если он полагает, что новая парадигма всегда и во всем лучше, прогрессивнее старой. ... Иногда случается, что новое поколение несёт с собой новый, более высокий уровень абстракции, и тогда кое-кто получает возможность говорить о прогрессе науки. Но по иронии судьбы очень часто оказывается, что новое оказалось только видоизменённым старым, что было известно тем, кто был до нас и даже мог быть задолго до тех, кто жил до нас» [Соколов, 1996; Пятов, 2021]

Поэтому современная трансформация, затронувшая практически все сферы деятельности общества, должна нацелить нас на более глубокое переосмысление методологий и в этом следует ещё раз подчеркнуть особую роль и ответственность учёта и контроля. Учётно-аналитические системы и контроль должны формироваться на основе единства теории и методологии с расширением функциональной полезности информации для управления. В цифровой экономике не исключаются системы тройной и четверной записи на носителях и расширение системы счетов для сбора информации различного характера по требованиям для эффективного менеджмента. В тоже время сохранение исторического методологического подхода (простая, камеральная и двойная бухгалтерия) и углубление содержательного подхода в реализации экономической и юридической доказательности фактов и событий актуально для кибербезопасности и исключения потерь информации при непредвиденных обстоятельствах и угрозах. Выходы из недостатков традиционного учёта следует превращать в преимущество способами интеграции видов учёта и обмена информации. Если данные бухгалтерской (финансовой) отчётности не в полной мере удовлетворяют менеджмент организации, следует развивать систему управленческого учёта с широким применением цифровых технологий и использованием методов анализа и прогнозирования. В современном информационном пространстве внешняя среда функционирования субъекта при заданном режиме может достаточно полно отражаться в управленческом учёте. Это позволяет обосновывать принятие решений по предполагаемым вариативным условиям и событиям будущих действий. Причём, если в анализе и решении конкретных задач недостаточно данных бухгалтерской финансовой отчётности, следует использовать за определённый период времени все бухгалтерские записи с бухгалтерских счетов. Методология учёта это позволяет, и, следовательно, не представляет собой сложности выявить тенденции в развитии деловой

активности, определить сезонные колебания, многое другое в поведении хозяйствующего субъекта, что интересует исследователя и особенно в целях контроля целостности, эффективности и направлений движения активов.

Организация систем контроля в производственных структурах рыбохозяйственного комплекса в условиях цифровизации в автоматическом режиме должна гарантировать прозрачность, законность и ответственность деятельности. Эти требования возникают исходя только из некоторых задач Стратегии развития, таких как обеспечение продовольственной безопасности (доля отечественной рыбной и иной продукции из водных биологических ресурсов (с учётом переходящих запасов) внутреннего рынка не менее 85 %) и достижение среднеловового потребления рыбопродуктов не менее 22 кг в год в живой массе, а также минимизации негативного воздействия на окружающую среду.⁵ Если приводить все поставленные задачи Стратегии, то приходит понимание глобальности масштабов изменений во всех коммуникационных системах, от которых зависит оперативность и эффективность решения стратегических задач управления рыбохозяйственным комплексом. Важным становится информационная среда, скорость передачи и обработки информации, её качество, достоверность и полезность для принятия управленческих решений. Обеспечение продовольственной безопасности и устойчивого развития рыбохозяйственного комплекса определяются возможностями участников производственной цепочки реализовать свой потенциал и использовать преимущества цифровизации во внутренних системах контроля.

Формирование системы контроля и учёта происходит под влиянием внедряемых инноваций в производственные процессы добычи и переработки водных биологических ресурсов, автоматизация которых позволяет иметь полную информацию об объёмах, соответствии вылова всем регуляторам, а также размеры прилова и затраты ресурсов. Соответственно по внедрённым в производство инновациям изменяются и подходы к организации первичного учёта и контроля добычи рыбы и используемых ресурсов. Цифровизация в рыбной отрасли, внедрение электронного документооборота электронного формата выдачи разрешений и электронного промыслового журнала по инициативе ВАРПЭ стали предметом обсуждения на профильном комитете Совета Федерации и полу-

чил всестороннюю поддержку. В 2019 г. территориальными управлениями Росрыболовства было выдано 33 266 разрешений на добычу (вылов) водных биоресурсов во всех районах промысла РФ и внесено 33 514 изменений в разрешения. Наличие на борту рыболовецкого судна оригиналов этих документов является обязательным условием для ведения промысла. Расчёты ВАРПЭ показывают, что в результате принятия закона о введении ЭПЖ и электронных разрешений сокращение административных издержек составит не менее 150 млн рублей в год. Это отвечает интересам рыбаков и контрольно-надзорных органов и гарантирует повышение эффективности деятельности, снижение издержек, ускорение передачи данных о добыче, приёмке, перегрузке, транспортировке и хранению уловов, о производстве рыбной продукции. Создание устойчивой и безопасной информационно-телекоммуникационной структуры обработки и хранения информации в рыбохозяйственном комплексе является необходимым и защищает интересы государства и рыбопромышленного бизнеса.^{6,7}

Общими признаками контроля признается вторичность действия, то есть контролировать можно только то, что уже совершилось, контроль — это проходящий во времени процесс с совокупностью мер и специфических методов для выявления нарушений. Контроль осуществляют определённые органы, он целенаправлен и результативен, особенно, если это государственный контроль. С 1 июля 2021 г. Постановлением Правительства РФ⁸ в рамках реформы контрольно-надзорной деятельности вводится Единый реестр видов контроля (надзора), который раскрывает все уровни, виды и их описание. Таким образом будет обеспечено единообразие в представлении данных, их доступность в интернете, предотвращение ошибок.

Структурные изменения в организации промышленного и прибрежного рыболовства и трансформация в воспроизводственных процессах рыбохозяйственного комплекса в связи цифровизацией, внедрением достижений научно-технического и технологического развития, формируют соответствующую информационную среду, в которой бухгалтерский учёт и контроль занимает особое место и соответствующие изменения в них неизбежны. В связи

⁵ Распоряжение Правительства РФ от 26 ноября 2019 г. № 2798-р «Об утверждении стратегии развития рыбохозяйственного комплекса РФ на период до 2030 г. и плана мероприятий по её реализации». Стратегии развития рыбопромышленного комплекса до 2030 года.

⁶ Талабаева Л.З.: В рыбной отрасли должна быть создана «дорожная карта» развития цифровизации, 26 ноября 2020 // <https://primamedia.ru/news/1027046/>

⁷ Зверев Г. Рыба переходит «на цифру», 2021 // <https://www.comnews.ru/digital-economy/content/216574/2021-09-23/2021-w38/ryba-perekhodit-cifru>

⁸ Постановление от 2 апреля 2021 года № 528. В России появится Единый реестр видов контроля, 4 апреля 2021 Система государственного контроля и надзора // <http://government.ru/docs/41889/>

с этим учёт и контроль как взаимосвязанные и взаимообусловленные элементы информационной системы хозяйствующего субъекта трансформируются, применяя новые методологические подходы в организации и использовании цифровых технологий и инструментов. В рыбохозяйственном комплексе в новой институциональной среде, определяемой масштабной цифровизацией экономики, со становлением новых парадигм развития и сменой учётных парадигм необходимы методологические трансформации контроля. Для функционирования новых систем учёта и контроля в производственных цепочках должны быть подготовлен персонал, который владеет нужными компетенциями, а именно работой в информационной среде с выходами и работой с федеральными государственными информационными системами. Для рыбохозяйственного комплекса важными системами являются ФГИС «Меркурий», ФГИС «Гонец» и др. Они обеспечивают прозрачность операций участников производственной цепочки. Цифровые технологии решают многоцелевые задачи. Автоматизация передачи информации пользователям и с достаточной степенью её детализации о технологических операциях добычи, выгрузки и приёмов, от которых зависит эффективность использования ресурсов (топлива, энергии), исключаются потери ресурсов и раскрывается информация об уровне переработки водных биологических ресурсов, объёмы продовольственных видов рыбных товаров и количественные характеристики извлечённых других полезных компонентов.

Методологические трансформации контроля происходят в содержании процедур и изменения соотношения внешнего и внутреннего контроля, увеличения степени полезности информации для регулирования процессов. Для хозяйствующего субъекта первостепенным является организация качественного внутреннего контроля. В рыночных механизмах заложены принципы предварительного, текущего и последующего контроля. Исполнители, осуществляя любой производственный процесс, контролируют все операции в соответствии с установленными стандартами, техническими условиями, нормативами для производства высококачественной продукции, востребованной потребителем. И в тоже время функции контроля могут осуществляться извне при помощи компьютерных аудио и видеозаписей. Внутрихозяйственный контроль, проводимый извне менеджерами, позволяет выявить недостатки в технологических процессах, в операционных действиях исполнителей, гарантирует достоверность информации, чистоту и ответственность принимаемых управленческих решений, исключает коррупционные действия. С развитием цифровизации

рыбохозяйственного комплекса контроль осуществляется посредством космических спутниковых технологий наблюдения, при которых успешно проводится динамичная и полная фотография процессов с данными в пространственном и временном проектах с предоставлением степени влияния сопутствующих факторов и операций в водных акваториях. Таким образом, в менеджменте вносятся изменения в последовательности выполнения задач, и контроль становится всегда опережающим во времени и полноценно действенным инструментом выявления нарушений.

Как важный институциональный механизм цифровизация создаёт инновационное условие для выхода на новый уровень организации промышленного и прибрежного рыболовства.

Одной из очень самых болезненных проблем в рыбохозяйственном комплексе является незаконный, несообщаемый и нерегулируемый (ННН) промысел — это все виды, разные размеры и масштабы рыболовства, осуществляемого незаконно в открытом море и в водах под национальной юрисдикцией отечественными и зарубежными судами, а также все аспекты вылова и использования рыбы. Продовольственная и сельскохозяйственная организация (ФАО) ООН по каждому (Н) чётко определяет сущность и отмечает негативную роль такого промысла. Он препятствует сохранению и рациональному использованию водных биологических ресурсов, дискредитирует ответственных рыбаков, угрожает долгосрочной устойчивости, морскому биоразнообразию и продовольственной безопасности общин, для которых рыба является основным источником питания.⁹ В 2016 г. ФАО ООН стала инициатором международного договора по борьбе ННН промыслом, к которому присоединились около 50 стран, включая нашу страну. Иностранные рыболовные суда для вхождения в порты этих государств, обязаны заранее запросить разрешение, предоставить подробную информацию о своей деятельности и рыбе на борту. В России по национальному плану противодействия ННН-промыслу в 2015 г. был осуществлён контроль законности вылова около 60%, а в 2017 г. почти 100% вывозимых из страны водных биоресурсов.

Цифровые технологии учётно-аналитических процедур в рыболовстве упрощают сбор информации и систематизацию по необходимым для управления аналитическим признакам и исключают разрывы во времени прохождения производственных процессов и их отражения в системе учёта. Контрольная функ-

⁹ ФАО ООН Незаконный, несообщаемый и нерегулируемый (ННН) промысел // <https://www.fao.org/iuu-fishing/background/what-is-iiu-fishing/ru/>

ция учёта может быть совмещена с прогнозированием при использовании соответствующих программных комплексов.

В рыбохозяйственном комплексе цифровизация позволяет создать единые специальные базы данных. Директор ВНИРО К.В. Колончин отмечает существенный прорыв в научных исследованиях с применением цифровых технологий. Были использованы беспилотные летательные аппараты (БПЛА) для наблюдения и контроля за сохранением водных биологических ресурсов. В 2019 г. в весенний период впервые за много лет проведён авиационный учёт байкальской нерпы, а в летний период в Хабаровском крае осуществлён мониторинг заполнения нерестилищ тихоокеанских лососей [Бизиков и др., 2019; Дуленин и др., 2021]. В результате проведения авиационных учётных процедур были получены огромные массивы фото- и видеоматериалов, обработанные в новых программных комплексах с реализацией алгоритмов распознавания образов (машинного зрения) и самообучающихся систем с элементами искусственного интеллекта, которые позволили учёным получить новые знания о водных биологических ресурсах. Искусственный интеллект и высококвалифицированная работа оператора позволили провести исследования жизни в естественной среде обитания и получить ранее недоступную информацию о биологии, поведении и количественных и качественных характеристиках морских животных и рыб. Тем самым доказан неограниченный потенциал цифровизации и применения БПЛА, оснащённых «умными» фото- и видеосистемами для исследования водных биоресурсов в пресноводных и морских водоёмах России. Во ВНИРО в 2021 г. научные исследования будут проводиться с использованием цифровых информационных технологий. На основе ВНИРО планируется создание единой информационной системы хранения, анализа, цифровой обработки данных мониторинга водных биологических ресурсов и в будущем распространение на все рыбохозяйственные бассейны РФ. Это позволит выполнить целевые установки Стратегии развития рыбохозяйственного комплекса до 2030 г. на основе высокого уровня контроля добычи и использования рыбного сырья. Преимуществом цифровизации для проведения контрольных процедур будет также введение выдачи разрешений в онлайн-режиме и электронного журнала на рыболовных судах. Тем самым снимаются административные барьеры и сокращаются издержки рыбного промысла, а в территориальных управлениях Росрыболовства появляются возможности повышения качества и уровня контроля [Колончин, Зверев, 2021].

Трансформация контроля в условиях цифровизации позволяет для сбора информации о проведённых производственных процессах, начиная с добычи, выгрузки и первичной обработки рыбы использовать спутниковые технологии. Они сокращают затраты и снижают трудоёмкость всемерного контроля за уловами на рыболовецких судах. В организации опережающего контроля в прибрежных перерабатывающих предприятиях и транспортных системах усиливается действие фактора времени для поставок рыбных товаров на продовольственные рынки. Хозяйствующим субъектам контроль в условиях цифровизации синхронизируется с выполнением на более высоком уровне других функций менеджмента, а именно планирование и прогнозирование объёмов производства и продаж в соответствии с данными о конъюнктуре рынка, использовать систематизированную информацию по поставщикам и потребителям для оптимизации логистических систем.

Достижения космических технологий контроля, а именно спутниковые технологии позволяют проводить все виды контроля одновременно в производственном процессе и обеспечивать руководство и исполнителей необходимой информацией для управления. По федеральной целевой программе «Поддержка, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012–2020 годы» в госкорпорации «Роскосмос» холдинг «Российские космические системы» (РКС) по заказу Министерства транспорта проведена опытно-конструкторская работа по разработке системы «Трал». Целью данного проекта является борьба с нелегальным выловом рыбы в российской экономической зоне и её незаконной поставкой в порты других государств. На российских рыболовецких судах на основе данной системы контролируется опускание и поднятие трала и автоматически рассчитывается масса улова. Информация об объёмах добычи автоматически передаётся через спутники связи «Гонец» в отраслевую систему мониторинга Росрыболовства. Это повышает качество и уровень контроля за промыслом и обеспечивает прозрачность отчётности. Система ГЛОНАСС показывает районы нахождения рыболовного судна и представляет полную информацию о добычах в запрещённых местах, фактах выгрузки рыбы в иностранных портах. Таким образом, проведение государственного контроля за ННН промыслом и незаконным экспортом рыбного сырья становится постоянной непрерывной цифровой процедурой, которую осуществляет диспетчерский пункт. В настоящее время спутниковые системы связи, в том числе система «Гонец» осуществляют мониторинг местоположения рыболовецких судов, выявляет ННН-промы-

сел и информация автоматически передаётся в Пограничную службу ФСБ России.¹⁰

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Институциональная среда в рыбохозяйственном комплексе, созданная цифровизацией позволила на более высоком уровне воплотить в системы контроля исторические принципы бухгалтерского учёта оперативность, полноту и достоверность информации. Цифровые технологии и инструменты коренным образом меняют методологические подходы к организации внешнего и внутреннего контроля, которые в новой цифровой среде оперативно обеспечивают информацией государственные надзорные органы и менеджмент рыбного бизнеса, а также позволяют исключить искажения, информации, инициируемые человеческим фактором.

Трансформация контроля в условиях цифровизации приводит к развитию теоретической базы и тесной методологической связи учёта и контроля в новых институциональных условиях. При этом содержание новых парадигм учёта обогащается новыми цифровыми процедурами, которые решают в единстве задачи учёта и контроля. Таким образом, цифровизация расширяет возможности использования единого информационного пространства для интеграции всех видов контроля для эффективного управления в производственных структурах и государственных органах и обеспечивает достижение целей и задач Стратегии развития и устойчивости рыбохозяйственного комплекса.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов.

Соблюдение этических норм

Все применимые этические нормы соблюдены.

Финансирование

Работа выполнена по личной инициативе, без дополнительного финансирования.

ЛИТЕРАТУРА

Бизиков В.А., Болтнев Е.А., Петров Е.А., Петерфельд В.А., Черноок В.И. 2019. Экспериментальная авиасъёмка байкальской нерпы с использованием БПЛА большой дальности // Труды ВНИРО. Т. 175. С. 226–229

Воронина Н.И., Надеждина С.Д., Пьянкова Л.М., Фадейкина Н.В. 2019. Будущее бухгалтерского учёта в контексте современного развития цифровой экономики // Сибирская финансовая школа. № 5. С. 67–74.

Дуленин А.А., Дуленина П.А., Коцюк Д.В., Свиридов В.В. 2021. Опыт и перспективы использования малых беспилотных летательных аппаратов в морских прибрежных биологических исследованиях // Труды ВНИРО. Т. 185. С. 134–151.

Ковалев В.В. 2013. Является ли бухгалтерский учёт наукой: ретроспектива взглядов и тенденции // Вестник Санкт-Петербургского ун-та. Серия 5. Экономика. Вып. 2. С. 90–112.

Колончин К.В., Зверев Г. 2021. Цифровизация равно доверие // Русская рыба вчера, сегодня, завтра. № 4. С. 40–47

Пятков М.Л. 2021. Мифология бухгалтерского учёта и развития его теории и практики общество и экономика проблемы развития // Вестник НГУЭУ. № 1. С. 10–37

Соколов Я.В. 1996. Бухгалтерский учёт: от истоков до наших дней. М.: ЮНИТИ. 640 с.

Шатров С.Л. 2011. Теория контроля. Гомель: БелГУТ. 48 с.

REFERENCES

Bizikov V.A., Boltnev E.A., Petrov E.A., Peterfeld V.A., Chernook V.I. 2019. Experimental aerial survey of the Baikal seal using long-range UAVs // Trudy VNIRO. Vol. 175. P. 226–229 (In Russ.)

Voronina N.I., Nadezhkina S.D., Pyankova L.M., Fadeikina N.V. 2019. The future of accounting in the context of the modern development of the digital economy // Siberian Financial School. No. 5. Pp. 67–74, (In Russ.).

Dulenin A.A., Dulenina P.A., Kotsyuk D.V., Sviridov V.V. 2021. Experience and perspectives of small unmanned aerial vehicles utilization in marine coastal biological studies // Trudy VNIRO. V. 185. P. 134–151 (In Russ.)

Kovalev V.V. 2013. Is accounting a science: a retrospective of views and trends // Bulletin of the St. Petersburg University. Series 5. Economy. Is. 2. Pp. 90–112. (In Russ.).

Kolonchin K.V., Zverev G. 2021. Digitalization equals trust // Russian fish yesterday, today, tomorrow. No. 4. P. 40–47 (In Russ.).

Pyatov M.L. 2021. The mythology of accounting and the development of its theory and practice society and economics problems of development // Bulletin of NGUEU. No. 1. Pp. 10–37 //

Sokolov Ya.V. 1996. Accounting: from the origins to the present day. Moscow: UNITY, 640 p. (In Russ.).

Shatrov S.L. 2011. Theory of control. Gomel: BelGUT. 48 p. (In Russ.).

Поступила в редакцию 29.11.2021 г.
Принята после рецензии 12.12.2021 г.

¹⁰ Разработанная в РКС система мониторинга судов повысит эффективность контроля рыбного промысла, 2021 <https://russianspacesystems.ru/2020/10/12/razrabotannaya-v-rks-sistema-monitoringa/>

Информация. Экспедиции ВНИРО

Результаты биологических исследований на шельфе Западной Камчатки летом 2021 г.

С.И. Моисеев¹, А.В. Лысенко², Т.Б. Морозов³, А.А. Матвеев³, Н.М. Блищак², С.А. Моисеева⁴

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

²Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), пер. Шевченко, 4, г. Владивосток, 690091

³Камчатский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («КамчатНИРО»), ул. Набережная, 18, г. Петропавловск-Камчатский, 683000

⁴Институт биофизики клетки (ФГБУН «ИБК РАН»), Институтская, 3, г. Пущино, Московская область, 142290

E-mail: moiseev@vniro.ru

Целью проведённых исследований является оценка запаса и биологического состояния промысловых видов беспозвоночных и других гидробионтов на шельфе Западной Камчатки. Приводятся результаты, способствующие охарактеризовать современное состояние промысловых популяций донных и придонных гидробионтов, обитающих на глубинах 14–303 м.

Материал и методы — традиционные для рыбохозяйственных исследований, данные получены в июне-июле 2021 г. во время ежегодной донной учётной траловой съёмки. В районе работ базовыми объектами изучения были камчатский краб (*Paralithodes camtschaticus*) и краб-стригун Бэрда (*Chionoecetes bairdi*).

Новые данные, полученные по результатам прямого учёта, показали следующее: 1) в Камчатско-Курильской подзоне запас *P. camtschaticus* находится в неопределённом состоянии, близком к неудовлетворительному, а численность *C. bairdi* достигла наибольших значений за последнее десятилетие; 2) в Западно-Камчатской подзоне состояние запаса *P. camtschaticus* было удовлетворительным, за исключением южной части подзоны, где отмечены низкие уловы этого вида; 3) биологическое состояние и запас других промысловых беспозвоночных и рыб донного комплекса было удовлетворительным.

Практическая значимость представленных результатов исследований состоит в обеспечении ежегодных прогностических материалов по общим допустимым уловам донных промысловых видов гидробионтов для районов шельфа Западной Камчатки.

Ключевые слова: донная траловая съёмка, запас, распределение, биология, *Paralithodes camtschaticus*, *Chionoecetes bairdi*, промысловые беспозвоночные и рыбы.

Results of biological research on the shelf of Western Kamchatka in the summer of 2021

Sergey I. Moiseev¹, Aleksandr V. Lysenko², Taras B. Morozov³, Andrey A. Matveev³,
Nikita M. Blishehak², Svetlana A. Moiseeva⁴

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

²Pacific branch of VNIRO («TINRO»), 4, per. Shevchenko, Vladivostok, 690091, Russia

³Kamchatka Branch of VNIRO («KamchatNIRO»), 18, Naberejnaya Str., Petropavlovsk-Kamchatsky, 683000, Russia

⁴Institute of Cell Biophysics RAS («ICB RAS»), 3, Institutskaya str., Pushchino, Moscow reg., 142290, Russia

The purpose of the research is to assess the stock and biological condition of commercial invertebrate species and other aquatic organisms on the shelf of Western Kamchatka. The results contributing to characterize the current state of commercial populations of bottom and bottom hydrobionts living at depths of 14–303 m are presented.

Data collection methods are traditional for fisheries research, the data were obtained during the annual bottom trawl survey in June-July 2021. In the area of work, the basic objects of study were the red king crab (*Paralithodes camtschaticus*) and of the southern Tanner crab (*Chionoecetes bairdi*).

New knowledge gained as a result of direct accounting showed the following: 1) in the Kamchatka-Kuril subzone, the stock of *P. camtschaticus* is in an uncertain state, close to unsatisfactory, and the number of *C. bairdi* has reached the highest values over the past decade; 2) in the West Kamchatka subzone, the stock of *P. camtschaticus* was satisfactory, with the exception of the southern part of the subzone, where low catches of this species were noted; 3) the biological condition and stock of other commercial invertebrates and fish of the bottom complex was satisfactory.

The practical significance of the presented research results is to provide annual prognostic materials on the total allowable catches of bottom commercial species of hydrobionts for the shelf areas of Western Kamchatka.

Keywords: bottom trawl survey, stock, distribution, biology, red king crab *Paralithodes camtschaticus*, bairdi crab *Chionoecetes bairdi*, commercial invertebrates and fish.

В 2021 г. реализована учётная донная траловая съёмка с целью оценки запаса и биологического состояния промысловых беспозвоночных и других гидробионтов, обитающих на шельфе Западной Камчатки. Траления выполнялись на научно-исследовательском судне (НИС) «Дмитрий Песков», принадлежащем «БИФ ВНИРО» (филиал ФГБНУ «ВНИРО»). Сэмплер – донный трал ДТ/ТВ 27,1/24,4 с мелкоячейной вставкой в кутце и мягким грунтропом с грузами из якорной цепи весом 214 кг. Горизонтальное раскрытие трала 16 м, вертикальное 3,5–4 м, продолжительность траления 25–30 минут, средняя скорость 2,6 узла. Научно-исследовательские работы проходили в Камчатско-Курильской подзоне 1–22 июня на глубинах 14–303 м и в Западно-Камчатской с 22 июня по 5 июля на 14–200 м. В уловах отмечено 97 беспозвоночных животных и 104 вида рыб. Для основных видов рассмотрены биология, пространственное распределение и дана оценка мгновенной численности (запаса). Биологическое состояние гидробионтов изучали по общепринятым методам рыбохозяйственных исследований [Родин и др., 1979; Бизиков и др., 2006; Моисеев и др., 2018]. Для сбора данных по температуре ($T^{\circ}\text{C}$) воды в придонных слоях использовали термодатчики «Термохрон», которые крепили к верхней подборе трала. В период НИР наиболее вариабельной $T^{\circ}\text{C}$ воды была у дна на 14–30 м. В начале июня $T^{\circ}\text{C}$ была около 4°C изред-

ка достигая 6°C , а к началу июля $T^{\circ}\text{C}$ была $4\text{--}8^{\circ}\text{C}$. В северной части района НИР на 75–130 м отмечены придонные линзы с холодными водами от $-0,2$ до $+0,5^{\circ}\text{C}$ (рис. 1).

В районе НИР ценными объектами для рыбной отрасли являются – краб камчатский *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius, 1815), краб-стригун Бэрда *Chionoecetes bairdi* Rathbun, 1924 и гидробионты, для которых устанавливается общий допустимый улов. При описании биологического состояния крабов были рассмотрены функциональные группы, размерный состав, межлиночное состояние карапакса и развитие икры у самок.

Краб камчатский. В Камчатско-Курильской подзоне краб встречался штучно на 14–100 м, иногда до 150 м. Улов составил 333 экз., из них 124 экз. пойманы однажды на севере подзоны на 45 м. Биологическое состояние *P. camtschaticus* (табл. 1) было характерным для летнего сезона, большинство крабов нагуливались после сезонных миграций, линьки и/или нерестового спаривания, а меньшая часть готовилась к линьке.

В Западно-Камчатской подзоне *P. camtschaticus* наблюдался на 14–90 м, иногда до 150 м. В улове преобладали самцы, составляя 67%. Биологическое состояние этого вида было не характерно для лета, а больше соответствовало переходному периоду вес-

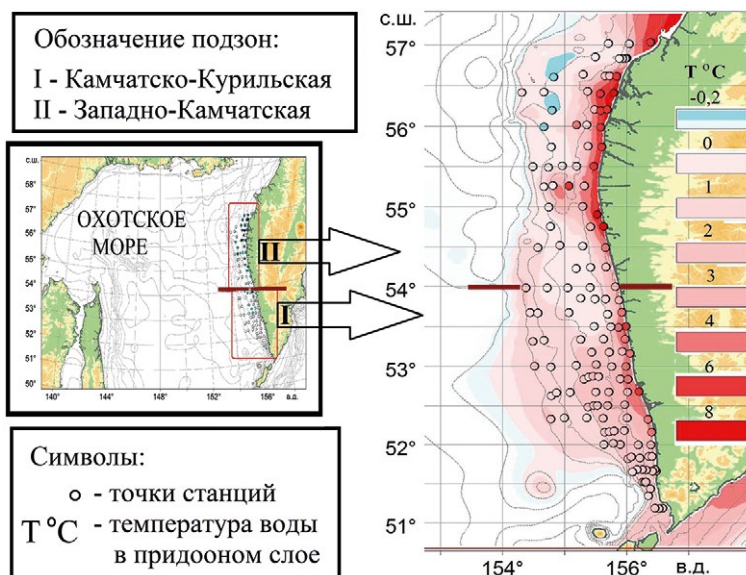


Рис. 1. Схема района проведения донной траловой съёмки на шельфе Западной Камчатки летом 2021 г. и распределение температуры воды у грунта в период НИР. Район I – Камчатско-Курильская подзона; район II – Западно-Камчатская подзона

Fig. 1. The scheme of the bottom trawl survey area on the shelf of Western Kamchatka in the summer of 2021 and the distribution of water temperature at the bottom during the research period. District I – Kamchatka-Kuril subzone; District II – West Kamchatka subzone

Таблица 1. Биологические характеристики основных промысловых видов крабов
Table 1. Biological characteristics of the main commercial crab species

Показатели		<i>P. camtschaticus</i>		<i>C. bairdi</i>		<i>P. platypus</i>		<i>C. opilio</i>					
		Район I	Район II	Район I	Район II	Район II	Район I+II						
Число ♂♂ / ♀♀ ¹		291 / 42	2667–885	3986–2523	399–275	492–182	1253–753						
♂♂ ШК min-max, мм		76–227	52–217	13–176	64–154	72–193	5,7–163						
♂♂ мода /		181–190	171–180	126–130	96–110	161–170	56–60						
средняя ШК, мм		180,7	163,5	115,5	104,8	150,2	65,4						
% промысловых ♂♂ /		94,2%	73,4%	48,7%	16,1%	83,1%	15,3%						
их средняя ШК, мм		184,9	174,2	138,5	129,4	157,2	119,2						
♀♀ min-max ШК, мм		46–163	71–160	27–118	70–112	87–124	6,5–104						
♀♀ мода /		141–150	111–120	91–95	91–95	101–110	56–65						
средняя ШК, мм		126,6	118,5	90,4	91,9	105,0	54,4						
Стадии икры ² ,%	би/ив/иц	28,6/9,5/61,9	3,2/6,4/78,5	15,7/2,6/68,4	12,0/3,3/58,2	0,5/20,3/60,4	65,5/13,1/20,5						
	иб/иг/лв/ял	-/-/-/-	11,6/0,1/-/0,1	-/11,1/2,1/0,1	-/25,8/0,4/-	18,1/0,5/-/-	0,9/-/-/-						
Межлиночная стадия (внешнее состояние карапакса), %	♂♀	♂♂	♀♀	♂♂	♀♀	♂♂	♀♀	♂♂	♀♀				
	1	-	-	0,0	1,9	0,2	-	-	-	1,1	1,7		
	2	0,3	61,9	0,9	30,4	8,4	0,6	6,0	5,3	2,6	3,8	3,8	5,0
	3.0	8,2	38,1	10,4	27,8	22,0	2,4	34,3	15,5	35,0	22,3	9,7	2,5
	3.1	77,7	-	41,7	33,6	46,2	68,9	35,1	62,1	38,2	53,5	79,2	87,4
	3.2	13,1	-	41,1	4,1	22,9	28,1	24,6	17,0	19,7	20,4	6,0	3,4
	4	0,7	-	5,9	2,2	0,4	-	-	-	4,5	-	0,2	-

Примечания. ¹ – число ♂♂ и ♀♀ в биоанализах; ² – стадии зрелости: би- неполовозрелые самки без икры, ив – икра внутренняя (в гонадах); иц – икра цветная, новая оранжевая (ио), фиолетовая (иф) или другого цвета, нг – стадия начального глазка, икра бурая (иб), ип – икра поздняя, лв – личинки выпущены, ял – яловая.

на-лето. Основная доля самцов была в постлиночном и предлиночном состоянии, а у самок завершился нерест, более 2/3 были с новой недавно отложенной икрой (табл. 1).

В период НИР у самцов камчатского краба наполнение конечностей мышечной тканью (НКМТ) и содержание белка в гемолимфе (СБГ) были с большим разбросом значений (табл. 2). У самок физиологические параметры также колебались НКМТ 30–85%, СБГ 3,3–8,2 г/100 мл, а в среднем 68% и 6,3 единицы, соответственно. Невысокие средние значения параме-

тров указывали на низкий темп нагула и синтез мышечной массы у крабов в период НИР.

В 2021 г. распределение плотности *P. camtschaticus* на шельфе Западной Камчатки было мозаичным. В районах южнее 55°45' с.ш. крабы встречались реже, чем в предыдущие годы. Для этих районов промысла состояние запаса неопределённое, близкое к неудовлетворительному, а севернее 55°45' с.ш. удовлетворительное. На современном этапе у *P. camtschaticus* наблюдается низкая миграционная активность из северных районов в южные. На участке 56°15'–56°45' с.ш. в области проявления холодных линз у дна на

Таблица 2. Физиологические и биохимические параметры самцов крабов в районе НИР
Table 2. Physiological and biochemical parameters of male crabs in the research area

Параметр	Стадия	<i>P. camtschaticus</i>	<i>C. bairdi</i>	<i>P. platypus</i>
НКМТ, %	2–3.0	30–60 / 50	40–71 / 61	40–65 / 50
	3.1–3.2	55–90 / 77	65–100 / 81	75–95 / 86
	4	60–80 / 70	40–70 / 58	70–80 / 75
СБГ, г/100 мл	2–3.0	2,0–3,4 / 2,9	2,3–3,1 / 2,7	2,3–3,7 / 3,1
	3.1–3.2	3,1–6,1 / 4,5	3,2–6,3 / 4,4	3,3–6,8 / 5,3
	4	3,2–4,4 / 5,3	3,0–3,6 / 3,2	3,9–4,6 / 4,2

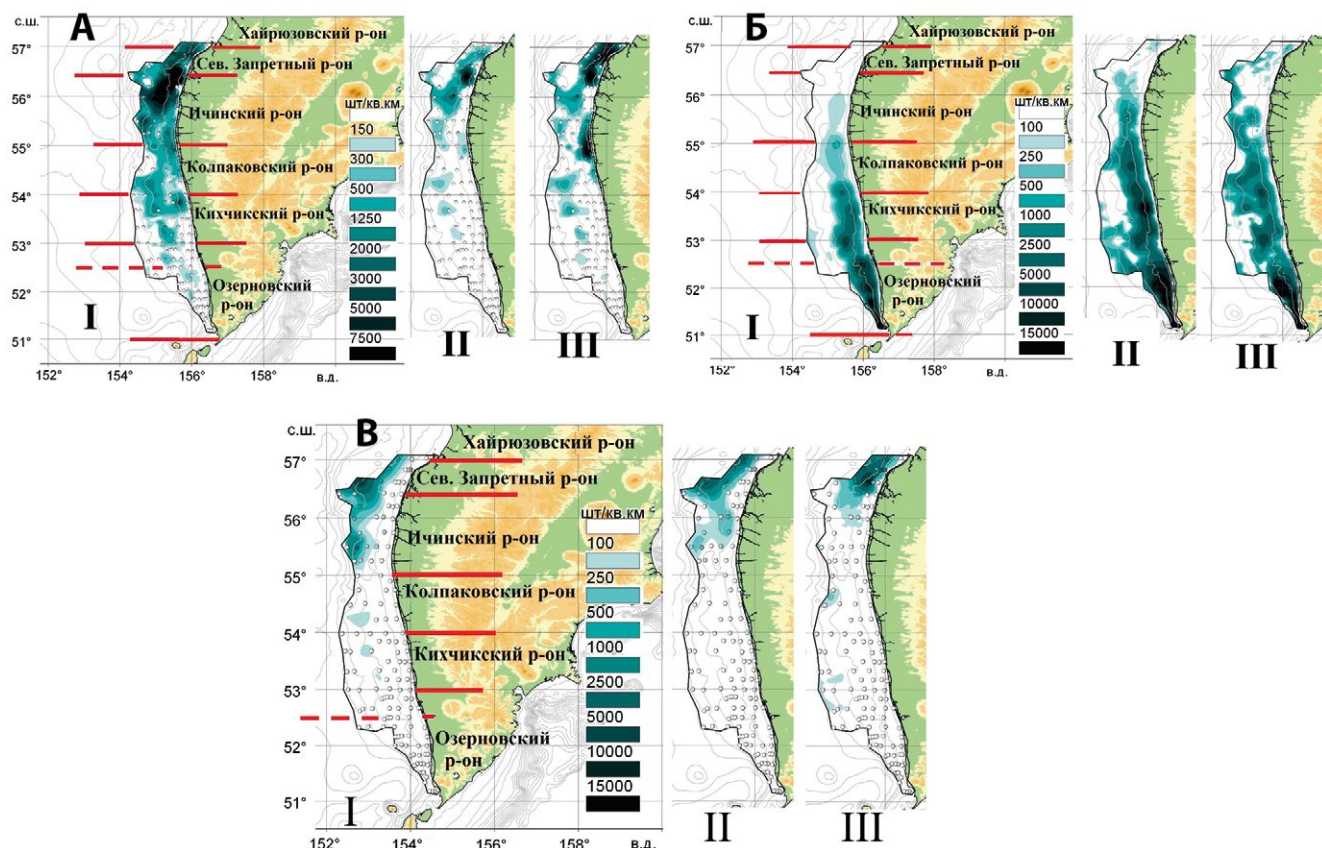


Рис. 2. Пространственное распределение крабов *P. camtschaticus* (А), *C. bairdi* (Б) и *P. platypus* (В) в районе шельфа Западной Камчатки летом 2021 г. Обозначения: I – самцы с промысловой ШК; II – непромысловые самцы; III – самки

Fig. 2. Spatial distribution of crabs *P. camtschaticus* (A), *C. bairdi* (B) and *P. platypus* (C) in the shelf area of Western Kamchatka in the summer of 2021. Designations: I – commercial males; II – non – commercial males; III – females

Таблица 3. Оценка мгновенного запаса (млн экз.) промысловых беспозвоночных
Table 3. Estimation of the instantaneous stock (million copies) of commercial invertebrates

Промысловые беспозвоночные и	Камчатско-Курильская подзона, S=26300 км ²			Западно-Камчатская подзона, S=25400 км ²			Всего в районе НИР S=51700 км ²		
	пром*	молодь	самки	пром*	молодь	самки	пром*	молодь	самки
Камчатский краб	6,8	2,9	1,7	63,23	35,55	28,97	70,0	38,5	30,7
Синий краб	0,44	0	0,16	8,7	1,6	1,9	9,14	1,6	2,06
Краб-стригун опилио	4,191	49,054	30,550	0,353	7,157	7,805	4,544	56,211	38,355
Краб-стригун Бэрда	62,8	122,6	119,8	3,487	21,974	18,174	66,281	144,549	138,002
Четырехугольный волосатый краб	1,9	1,65	0,26	0,4	1,27	0,39	2,3	2,92	0,65
Креветка северная	7,65**						7,65**		
Кукумария	208,7**			84**			292,7**		

Примечание: * – промысловая мера для ракообразных; ** – выполнена оценка биомассы в тыс. т

100–130 м в уловах отсутствовали молодые самцы и самки, и наоборот, наблюдалось увеличение численности у всех групп крабов на меньших глубинах, расположенных восточнее холодных линз (см. рис. 1–2А). Оценка запаса дана для трёх функциональных групп камчатского краба (табл. 3).

Краб-стригун Бэрда. В Камчатско-Курильской подзоне этот вид встречался на 14–303 м. Различные функциональные группы формировали скопления на 40–80 м, как в районе промысла южнее 52°30' с.ш., так и севернее этой границы, иногда небольшие скопления были до 120–150 м (рис. 2 Б). Размерный со-

став самцов был с двумя модами 96–110 мм (20%) и 126–130 мм (8%). У самок завершался нерест, 70% были с новой икрой, а 16% неполовозрелыми (табл. 1). Высокая доля встречаемости самок обеспечивает хорошие перспективы для воспроизводства *C. bairdi* в ближайшие годы. Прохождение терминальной линьки находили отдельно для каждого самца по коэффициенту морфометрической половозрелости [Моисеев и др., 2018]. Среди самцов с ШК ≥ 120 мм широкопалые самцы (ШПС) составляли 90%, а узкопалые самцы (УПС) 10%. Среди непромысловых самцов с ШК < 120 мм ШПС составляли 36,4%, а УПС 63,6%. В Западно-Камчатская подзоне *C. bairdi* чаще встречался южнее 55°00' с.ш. на 40–75 м иногда до 120 м. Биологическое состояние было сходным с таковым из южных районов, но в уловах доминировали самцы с ШК < 120 мм – 83,9% (табл. 1). Среди самцов с ШК ≥ 120 мм ШПС составляли 89,5%, а УПС соответственно 10,5%. У самцов с ШК < 120 мм соотношение между ШПС и УПС практически было равным, ШПС составляли 49,1 и 50,9%, соответственно УПС. Летом у самцов *C. bairdi* значения НКМТ и СБГ имели большой разброс, а не высокие средние значения (табл. 2) указывали на низкий синтез мышечной массы. Колебания физиологических параметров самок были меньше, чем у самцов – НКМТ 70–95%, СБГ 3,3–8,2 г/100 мл, в среднем 87% и 5,5 единицы, соответственно. Оценка запаса *C. bairdi* находится на историческом максимуме (табл. 3).

Краб синий *P. platypus* (Brandt, 1850). Чаще встречался севернее 55°30' с.ш. (рис. 2В). Биологическое состояние *P. platypus* соответствовало летнему сезону (табл. 1). У самок физиологические параметры имели значительный разброс НКМТ 40–95%, СБГ 2,7–7,1 г/100 мл, в среднем 75% и 6,0 единицы, соответственно. У самцов варибельность НКМТ и СБГ была менее выражена (табл. 2), что указывало на интенсивность нагула и миграционную активность. В районе НИР величина запаса *P. platypus* удовлетворительная (табл. 3).

Краб-стригун опилио *Chionoecetes opilio* (Fabricius, 1788). Встречался по всему шельфу НИР на 90–303 м с максимумом на 180–230 м. В уловах у обоих полов доминировали особи с ШК 26–70 мм и с двумя модами 41–45 и 56–65 мм. Среди самцов с ШК ≥ 100 мм ШПС составляли всего 9% от всех самцов, а УПС только 5%. У самцов с ШК < 100 мм ШПС составляли 16%, а УПС 70%.

Четырёхугольный волосатый краб *Erimacrus isenbeckii* (Brandt, 1848). Отмечался на 14–90 м, но

преобладал на 30–45 м. Из 291 экз. самцов было 89%, а самок 11%. Размерный ряд самцов 53–113 мм, мода 61–70 мм, средняя ШК 77,4 мм, доля промысловых 34%. Самки были с ШК 48–92 мм, средняя 66,3 мм. Самки были без икры на плеоподах. Крабы были в межлиночных стадиях 3.

Северная креветка *P. borealis eous* Makarov, 1935. Северная креветка встречалась в диапазоне 180–303 м, однажды отмечена на 98 м. Из 1113 экз. проанализированных креветок самцы составляли 56,6%, переходные особи (intersex) – 0,6%, самки – 42,8%. Длина тела самцов была 31–111 мм с двумя модами 66–70 и 86–90 мм, средняя 82,7 мм. Размер переходных особей был 95–108 мм, в среднем 102,4 мм. Самки были длиной 86–137 мм, средняя – 113,7 мм. Большинство креветок были с неокрепшим панцирем (перелинявшие) 91,8% и 7,2% были с твёрдым панцирем. Мгновенная биомасса (запас) северной креветки удовлетворительная (табл. 3).

Виды рода кукумария *Cucumaria*. В районе НИР доминировала кукумария охотская *Cucumaria okhotensis* Levin et Stepanov, 2003 на 14–100 м, иногда до 150 м. Максимальные уловы были на двух участках с глубинами 20–40 м. В Камчатско-Курильской подзоне за 30 минут траления уловы были 3000 кг, а в Западно-Камчатской 1800 кг. Масса тела кукумарий колебалась от 42 до 630 г, в среднем 217,9 г. Масса кожно-мускульного мешка (КММ) составляла 26–246 г, в среднем 111,8 г. Вес КММ (выход) от общего веса тела кукумарии был от 19,5 до 84,5%, в среднем 42,4%. Мгновенная биомасса кукумарии в Камчатско-Курильской подзоне на высоком уровне, а в перспективных районах Западно-Камчатской подзоны достигает 84 тыс. т (табл. 3).

Гибрид краба-стригуна *C. bairdi/opilio*. Гибрид чаще отмечался в Камчатско-Курильской подзоне (153 экз.). Соотношение полов было 1:0,44. Размерный состав самцов 31–161 мм, средняя ШК 91,3 мм. Самки были с ШК 36–98 мм, а их средняя ШК составляла 76,2 мм.

Головоногие моллюски Cephalopoda. В уловах отмечался гигантский осьминог Дофлейна *Octopus dofleini* (Wülker, 1910) и осьминог песчаный *Octopus conispadiceus* (Sasaki, 1917). Осьминоги встречались на глубинах 50–300 м. Размер тела 100–250 мм. Эпизодически в уловах были: командорский кальмар *Berryteuthis magister* (Berry, 1913) на 30–300 м (размер мантии 159–286 мм), гонатус Мадоки *Gonatus*

madokai (Kuboera et Okutani, 1977) на 50–100 м (длина мантии 24–96 мм) и тихоокеанская россия (лиловый кальмар-коротышка) *Rossia pacifica* Berry, 1911 на 50–100 м (длина мантии 60–80 мм).

Состав сообщества непромыслового макрозообентоса. В районе шельфа Западной Камчатки в траловых уловах идентифицировано 89 видов непромысловых беспозвоночных из 14 систематических групп, для отдельных таксонов даны плотностные характеристики. В Камчатско-Курильской подзоне средняя биомасса макрозообентоса составила 5149,2 кг/км², состав 88 видов, относящихся к 14 таксономическим группам (табл. 4). Биомасса голотурии (*C. ochotensis*) составила 72%, морские звезды – 18%, офиуры – 4%, морские ежи – 3%, остальные группы составляли ≤1% от средней биомассы макрозообентоса. Необходимо отметить резкое падение биомассы и плотности поселения брюхоногих моллюсков сем. *Buccinidae* в Камчатско-Курильской подзоне по сравнению со среднесезонными наблюдениями. В траловых уловах зафиксировано несколько живых букцинид различных родов и видов. Большинство моллюсков были

умершими с различными стадиями разложения внутренних органов и тканей.

В Западно-Камчатской подзоне средняя биомасса непромыслового тралового макрозообентоса составила 3627 кг/км², идентифицировано 75 видов из 13 таксономических групп (табл. 4). Основу уловов составляли голотурии рода *Cucumaria* 42% от общей средней биомассы прилова, морские звезды – 22%, губки – 25% и офиуры – 3%. В отличие от прошлых лет доля биомассы морских ежей была менее 1%, как и доля остальных бентосных групп.

Состав и структура сообществ донного ихтиоценоза. В уловах отмечено 104 вида рыб из 25 семейств. Доминировали виды 6 семейств: рогаковые Cottidae 19 видов, бельдюговые Zoarcidae – 14, камбаловые Pleuronectidae – 11, стихеевые Stichaeidae – 7, личиковые Agonidae и липаровые Liparidae – по 9 видов. Другие семейства были представлены 1–3 видами. Средний улов в пересчете на часовое траление (CPUE) в районе НИР составил 1841 кг. Около 73% от общего вылова составили: минтай *Gadus chalcogramma* Pallas, 1814 (54,5%), камбала сахалинская *Limanda*

Таблица 4. Биологические характеристики массовых групп непромысловых беспозвоночных на шельфе Западной Камчатки в 2021 г.

Table 4. Biological characteristics of mass groups of non-commercial invertebrates on the shelf of Western Kamchatka in 2021

Параметр		Porifera	Actiniaria	Alcyonacea	Penna- tulacea	Gastropoda	Bivalvia	Crustacea не- пром-вые	Asteroidea	Ophiuroidea	Echinoidea	Holothuroidea (Cucumaria sp)	Ascidacea
Глубина, м ¹	От-до	15–303	20–303	15–100	100–200	15–303	15–303	15–303	15–303	20–200	15–279	15–150	15–10
Нм с Мах уловом		45*/59**	25/101	57/16	200/200	26/40	29/20	85/105	47/129	80/50	80/103	36/25	20/16
Улов, кг	Мах	62,4/907,4	27,3/4,2	0,252/1,643	10/59	9,1/30,64	0,58/1,30	11,57/31,22	1348,5/453,6	171,75/100	128,4/0,268	3000/800	10,92/13,74
	Med	1,91/12,8	0,65/0,4	0,005/0,03	0,17/1,16	0,45/2,32	0,04/0,12	1,3/2,1	32,09/32,4	5,26/1,4	3,87/0,014	55,4/65,2	0,267/0,93
Биомасса, кг/км ²	Мах	1753,5/ 23555,4	1105,4/ 97,7	10,6/ 51,1	249,9/ 1474,7	341,5/ 795,4	26/ 35,03	401,7/ 752,5	33706,16/ 10203	5061,5/ 2499,5	5415,8/ 5,97	224957,6/ 43384,7	272,94/ 356,7
	Med	58,4/898	21,8/2,56	2,4/1,05	4,1/29,2	14,33/58,8	1,63/3,1	44/54,4	931,3/797,6	181,8/100,8	1723/0,22	3696,4/1657,7	7,6/24,01
Плотность, экз./км ²	Мах	3768/ 13082	20692/ 465	211/ 311	833/ 574	176/ 3815	176/ 232,7	128441/ 14864	358646/ 19021	13497/ 8998	183228/ 31,5	899830/ 40711	375/ 675
	Med	70/979,2	27,1/12	8/7	17/119	13/295,7	13/18,5	5201/1763	6983/1633	677/297	4904/62,5	22864/10719	10/59,39
Доля в уловах, %		1/25	≥1/≥1	≥1/≥1	≥1/1	≥1/1	≥1/≥1	1/1	18/22	4/3	3/≥1	72/46	≥1/1
Кф.встречаемости		0,1/0,66	0,1/0,09	0,09/0,03	0,02/0,03	0,3/0,56	0,2/0,29	0,8/0,86	0,8/0,96	0,2/0,156	0,35/0,07	0,47/0,13	0,12/0,31
Количество видов		6/7	3/4	1/2	1/1	21/19	8/10	14/13	13/9	1/2	2/2	5/4	4/3
Доминирующие виды в Камчатско-Курильской подзоне	<i>Suberites</i> sp.	<i>Actinostola</i> sp.	<i>Gersemia</i> <i>rubriformis</i>	<i>Halipterus</i> <i>finmarchika</i>	<i>Clinopegma</i> <i>chikaoi</i>	<i>Panomya</i> <i>norvegica</i>	<i>Pandalus</i> <i>goniurus</i> ; <i>Argis</i> lar; <i>Hyas</i> <i>coarctatus</i>	<i>Evasterias</i> <i>echinosoma</i> ; <i>Asterias</i> <i>rathbuni</i> ; <i>Lethasterias</i> <i>nanimensis</i>	<i>Gorgonocephalus</i> <i>eucnemis</i>	<i>Strongylocentrotus</i> <i>pallidus</i>	<i>Cucumaria</i> <i>okhotensis</i>	<i>Aplidiop-</i> <i>sis</i> sp	
Доминирующие виды в Западно-Камчатской подзоне	<i>Suberites</i> sp.	<i>Actinostola</i> sp.	<i>Gersemia</i> <i>rubriformis</i>	<i>Halipterus</i> <i>finmarchika</i>	<i>Neptunea</i> <i>beringiana</i> ; <i>Neptunea</i> <i>ventricosa</i>	<i>Serripes</i> <i>groenlandicus</i> ; <i>Mya truncata</i>	<i>Pandalus</i> <i>goniurus</i> ; <i>Pagurus</i> <i>rathbuni</i> ; <i>Telmessus</i> <i>cheiragonus</i>	<i>Evasterias</i> <i>echinosoma</i> ; <i>Lethasterias</i> <i>nanimensis</i> ; <i>Ctenodiscus</i> <i>crispatus</i>	<i>Gorgonocephalus</i> <i>eucnemis</i>	<i>Strongylocentrotus</i> <i>pallidus</i>	<i>Cucumaria</i> <i>okhotensis</i>	<i>Syncarpa</i> <i>oviformis</i>	

Примечание: ¹ – диапазон глубины встречаемости животных для всего обследованного шельфа Западной Камчатки в период НИР; * – параметр для Камчатско-Курильской подзоны; ** – через дробь параметр для Западно-Камчатской подзоны.

sakhalinensis Hubbs, 1915 (7,2%), керчак многоиглый *Myoxocephalus polyacanthocephalus* Pallas, 1814 (5,5%) и камбала желтопёрая *Limanda aspera* Pallas, 1814 (5,4%). Среди донных и придонных рыб по сравнению с прошлым годом рост CPUE отмечен у многоиглого керчака, сем. Liparidae, белокорого палтуса *Hippoglossus stenolepis* Schmidt, 1904, у камбал двухлинейной *Lepidopsetta polyxystra* Orr et Matarese, 2000 и хоботной *Limanda proboscidea* Gilbert, 1896. В целом, средние значения CPUE снизились у многих донных и придонных рыб как по сравнению с прошлым годом, так и относительно среднесезонного уровня. Уловы пелагических рыб также были ниже, чем в прошлые годы, тем не менее CPUE минтая по-прежнему превышал среднесезонное значение.

Благодарности

Авторы выражают искреннюю признательность экипажу НИС «Дмитрий Песков» за помощь в сборе научной информации.

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.
- 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.
- 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.

REFERENCES

- Bizikov V.A., Goncharov S.M., Polyakov A.V. 2006. GIS «Chartmaster» – new geographic information system for processing the data of hydrological surveys // VII All-Russian. conf. commers. invertebrate. Moscow: VNIRO Press. P. 18–24.
- 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. Vol. 172. P. 6–26.
- 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 ten – legged crayfish crustaceans Decapoda of the Far Eastern Seas. Vladivostok: TINRO Press. 59 p.

Поступила в редакцию 18.11.2021 г.

Информация. Экспедиции ВНИРО

Покатная миграция горбуши в р. Савушкина о. Парамушир (Северные Курилы) в весенне-летний период 2021 г.

Т.Ю. Углова¹, А.В. Соколов²

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»), Окружной пр-д, 19, г. Москва, 105187

² Сахалинский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («СахНИРО»), ул. Комсомольская, 196, г. Южно-Сахалинск, 693023

E-mail: Tasha-ug@yandex.ru

Целью данных исследований является формирование научных основ эффективного управления лососевым хозяйством Дальнего Востока России.

Используемые методы: научно-исследовательские работы проводились согласно стандартным методикам, применяемым в рыбохозяйственных исследованиях.

Новизна: работы в данном районе проводятся впервые за последнее десятилетие.

Результат: представлены результаты исследования покатной миграции горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1972), проведенные на р. Савушкина острова Парамушир северные Курильские острова (Сахалинская область) в весенне-летний период 2021 г. Всего было осуществлено 18 обловов в ночное время. Приведены данные по суточной динамике интенсивности ската сеголеток горбуши. Отмечено, что максимальное количество молоди скатывалось за первые два часа новых суток, что соответствовало астрономической полночи. Показатели размерно-массовых характеристик покатников горбуши за всё время наблюдения не менялись. В работе приведено краткое описание гидрологии реки. Измерения температурных показателей проводились каждый час (с 21:00 до 06:00) во время непосредственных работ и в 8:00, 16:00 и 24:00 часа (по Сахалинскому времени) ежедневно. В конце мая температура воды не превышала 3 °С, прогрев воды выше 5 °С в ночное время наблюдался только к третьей декаде июня. Скорость течения реки определялась непосредственно перед началом исследований. Колебания скорости течения реки были в пределах от 0,175 м/с до 0,662 м/с, и зависели, непосредственно, от приливно-отливных течений и уровня выпадения осадков.

Практическая значимость: Результаты выполненной в 2021 г. комплексной работы будут использованы для учёта численности тихоокеанских лососей и рационального их использования, а также в подготовке прогнозов рекомендованного объёма добычи (вылова) исследованных единиц запаса водных биологических ресурсов в последующие годы.

Ключевые слова: скат молоди, тихоокеанские лососи, горбуша, северные Курильские острова, остров Парамушир, температура воды.

Downstream migration of pink salmon into the R. Savushkina Paramushir Island (Northern Kuriles) in the spring-summer period of 2021

Tatyana Yu. Uglova¹, Artem V. Sokolov²

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

² Sakhalin Branch of VNIRO («SakhNIRO»), 196, Komsomolskaya Str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693023, Russia

The purpose of these studies is to form the scientific foundations for effective management of the salmon industry in the Russian Far East.

Methods used: research work was carried out in accordance with the standard methods used in the fisheries research.

Novelty: work in this area is being carried out for the first time in the last decade.

The results of the study the downstream migration of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha*, carried out in the R. Savushkina Island Paramushir Northern Kuril Islands (Sakhalin Region) in the spring-summer period. In total, 18 catches were carried out at night. The data on the daily dynamics of the downstream migration intensity are presented. It was noted that the maximum number of juveniles rolled down in the first two hours of a new day, which corresponded to astronomical midnight. The indices of the size-mass characteristics of downstream migrants of pink salmon did not change over the entire observation period. The work provides a brief description of the river. Measurements of temperature indicators were taken every hour (from 21:00 to 06:00) during the actual work. At the end of May, the water temperature did not exceed 3 °C, water warming up above 5 °C at night was observed only by the third decade of June. The river flow rate was determined immediately before the start of the research. Fluctuations in the river flow rate ranged from 0,175 m/s to 0,662 m/s, and depended directly on the tidal currents and the level of precipitation.

Practical significance: the results of the comprehensive work carried out in 2021 will be used to account for the abundance of Pacific salmon and their rational use, as well as in the preparation of forecasts of the recommended volume of harvest (catch) of the investigated units of aquatic biological resources in the coming years.

Keywords: downstream migration, Pacific salmon, pink salmon, northern Kuril Islands, Paramushir Island, water temperature.

Научно-исследовательские работы проходили в рамках бюджетного финансирования по учёту ската молоди тихоокеанских лососей на р. Савушкина о. Парамушир (северные Курильские острова) с 21 мая по 26 июня в 2021 г. (рис. 1). Сотрудникам центрального аппарата ФГБНУ «ВНИРО» совместно с сотрудниками Сахалинского филиала «СахНИРО» удалось возобновить проведение НИР в данном районе.

Исследования по учёту ската молоди тихоокеанских лососей осуществлялись в соответствии с «Методическими рекомендациями по исследованию тихоокеанских лососей» [Глубоковский и др., 2017], а также «Методическими аспектами количественного учёта покатной молоди лососей в реках Сахалино-Курильского региона» [Каев, 2010]. Для учёта применялась мальковая ловушка квадратного сечения 0,5×0,5 м (площадь 0,25 м²) из газа № 8, длина ловушки со-

ставляла 1,5 м, на конце ловушки имелась пластиковая ёмкость с завинчивающейся крышкой для сбора улова с отвинчивающейся крышкой. Облов молоди проводили через сутки в сумеречное и ночное время. Продолжительность экспозиции составляла 5 минут.

Створ лова выбран на прямолинейном участке русла перед поворотом реки. Ширина реки в створе – около 15 метров, максимальная глубина около 109 см (в период приливов), минимальная 44 см (рис. 2).

Всего было проведено 18 обловов, суммарный вылов молоди горбуши составил 92 экземпляра, кеты – 2 экземпляра и 1 экземпляр кижуча (рис. 3).

Исследования сопровождалась ежедневными измерениями уровня воды с помощью стационарной мерной ленты. Скорость течения реки измеряли с помощью 3-х пенопластовых полых поплавков, наполненных водой размером – длина –14 см ширина –

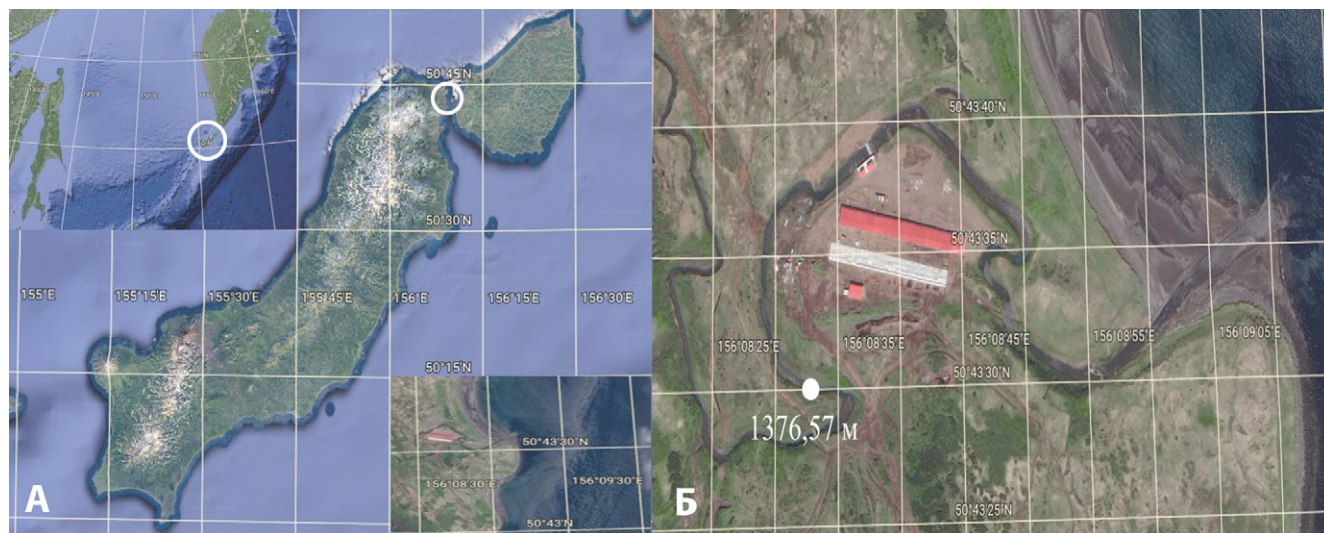


Рис. 1. Карта о. Парамушир (А); Место проведения работ по учёту ската молоди тихоокеанских лососей на р. Савушкина (1376, 57 м от устья) в 2021 г. (Б)

Fig. 1. Map about Paramushir (A); Place of work on the registration of downstream migration of juvenile Pacific salmon on the R. Savushkin (1376, 57 m from the mouth) in 2021 (B)

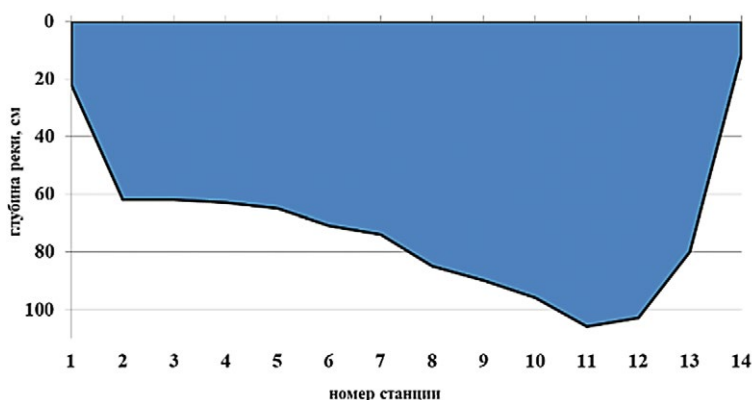


Рис. 2. Профиль глубин на р. Савушкина 23.06.2021, 23:00

Fig. 2. Profile of depths on the river Savushkina 06/23/2021, 23:00

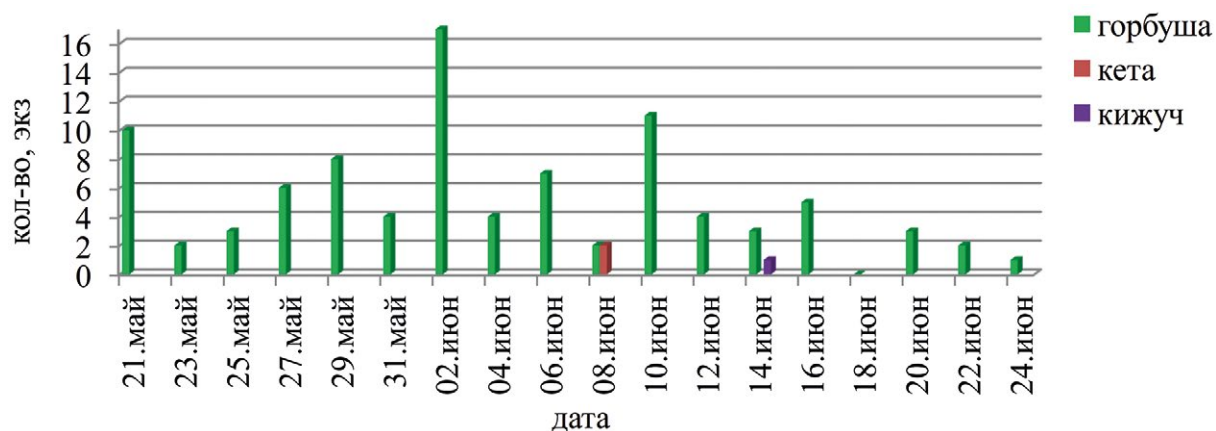


Рис. 3. Вылов молоди тихоокеанских лососей на р. Савушкина в 2021 г.

Fig. 3. Catch of juvenile Pacific salmon on the R. Savushkina in 2021

9,0 см и высота — 8 см на прямом участке реки длиной 50 м. Прозрачность измерялась методом диска Секки. Ежедневные измерения температуры воздуха и воды проводились с помощью стационарно установленных термометров в 8:00, 16:00 и 24:00 часов (по сахалинскому времени).

Во время проведения работ по учёту численности скатывающейся молоди горбуши средняя температура воды постепенно увеличивалась. Так, если в 9 часов вечера температура воды в конце мая не превышала 3 °С, то к окончанию работ она достигала 7 °С и выше. Суточная динамика температуры воды в течение всего периода исследований имела сходный характер. Она опускалась до минимальной отметки к трём-четырёх часам утра и оставалась такой примерно до восьми часов утра, когда начинался солнечный прогрев. Динамика изменения температуры воздуха во время проведения работ была схожей с динамикой изменения температуры воды. В конце мая температура воздуха в 9 вечера составляла 1 °С, к концу июня температура воздуха достигала 6 °С. Отрицательные температуры воздуха были за-

фиксированы 27 мая с 3 часов ночи до 5 часов утра, показатели температуры воздуха опускались с –1 до –2 °С и 22 июня в час ночи температура воздуха составляла –0,5 °С.

Температура воды в реке изменялась аналогично температуре воздуха. Вместе с прогревом воздуха наблюдался постепенный прогрев воды. В начале исследования в конце мая температура воды была на уровне 2 °С к концу июня значения температуры воды увеличились до 6,0 °С (рис. 4).

Уровень воды в реке Савушкина в районе проведения работ по учёту ската зависел от приливно-отливного режима. Наибольшая глубина в период исследований в контрольных точках была отмечена 25 мая — 102,85 см, минимальная 8 июня — 44,5 см. В среднем глубина реки была на уровне 75,3 см.

В 40% случаев (8 из 18) вода в реке была прозрачной. В конце мая мутность в р. Савушкина была высокая, диск просматривался на 18 см. К середине июня мутность реки снизилась до 40–50 см. Высокая мутность в реке наблюдалась 21 мая, а также 16 и 18 июня.

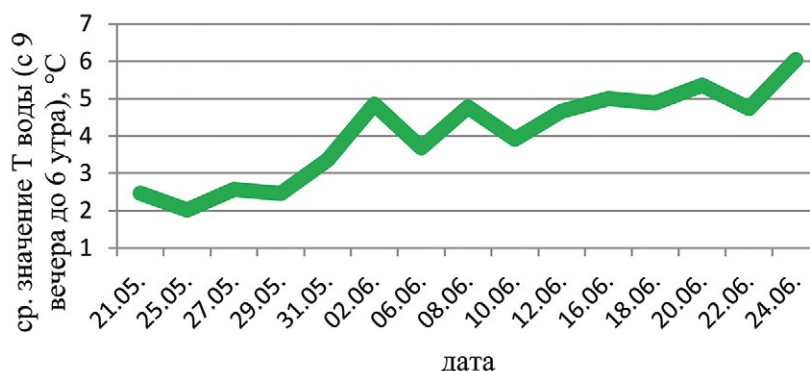


Рис. 4. Динамика средней температуры воды в р. Савушкина в период с 21 мая по 24 июня

Fig. 4. Dynamics of the average water temperature in the river. Savushkin from May 21 to June 24

Т.Ю. УГЛОВА, А.В. СОКОЛОВ
ПОКАТНАЯ МИГРАЦИЯ ГОРБУШИ В Р. САВУШКИНА О. ПАРАМУШИР (СЕВЕРНЫЕ КУРИЛЫ)
В ВЕСЕННЕ-ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2021 Г.



Рис. 5. Распределение покатной молоди горбуши в уловах по времени суток на р. Савушкина в 2021 г.
Fig. 5. Distribution of downstream juveniles of pink salmon in catches by time of day on the R. Savushkina in 2021

Таблица 1. Размерно-массовые показатели молоди горбуши из р. Савушкина в 2021 г.
Table 1. Size-mass parameters of juvenile pink salmon from the river. Savushkin in 2021

Дата	Кол-во, экз.	Масса, г	АС, мм	АД, мм
21–25.05.2021	15	$0,19 \pm 0,013$ $0,16–0,22$	$33,3 \pm 0,88$ $31,0–34,0$	$30,32 \pm 0,69$ $29,0–31,0$
26–31.05.2021	18	$0,20 \pm 0,06$ $0,10–0,36$	$32,61 \pm 2,0$ $29,0–35,0$	$29,59 \pm 1,99$ $26,0–32,0$
01–05.06.2021	21	$0,17 \pm 0,026$ $0,13–0,21$	$31,36 \pm 1,34$ $29,0–34,0$	$28,35 \pm 1,35$ $26,0–31,0$
06–10.06.2021	20	$0,19 \pm 0,035$ $0,13–0,27$	$29,8 \pm 3,33$ $16,0–32,0$	$26,79 \pm 3,33$ $13,0–29,0$
11–15.06.2021	7	$0,21 \pm 0,023$ $0,18–0,24$	$30,7 \pm 0,95$ $30,0–32,0$	$27,57 \pm 0,79$ $27,0–29,0$
16–20.06.2021	8	$0,17 \pm 0,027$ $0,11–0,19$	$30,6 \pm 2,09$ $28,0–35,0$	$27,58 \pm 2,07$ $25,0–32,0$
21–25.06.2021	3	$0,15 \pm 0,0$ $0,15–0,15$	$31,0 \pm 0,0$ $31,0–31,0$	$28,07 \pm 0,12$ $28,0–28,2$

Количество покатной молоди в течение суток было не однородным и не высоким. Во время проведения работ по учёту скатившейся молоди отмечено три пика численности – 21 мая, 2 и 10 июня (рис. 3). Суточная ритмика ската соответствовала общепринятой. Молодь горбуши начинала скатываться в 10 часов вечера. Пик ската приходился на полночь. Максимальное количество молоди скатывалось за первые два часа новых суток (рис. 5).

Размерно-массовые характеристики покатников горбуши за всё время наблюдения не менялись, средняя промысловая длина составляла $31,4 \pm 2,35$ мм ($16,0–35,0$), средний вес – $0,188 \pm 0,038$ г ($0,1–0,36$). Остатков желточного мешка отмечено не было (табл. 1).

Интенсивность ската можно охарактеризовать как слабую. Температура воды, как главный показатель для пойкилотермных животных изменялась в достаточно широких пределах (в среднем от 2 °С до 6 °С).

ЛИТЕРАТУРА

- Глубоковский М.К., Марченко С.Л., Темных О.С., Шевляков Е.А. 2017. Методические рекомендации по исследованию тихоокеанских лососей. М.: ВНИРО. 79 с.
 Каев А.М. 2010. Методические аспекты количественного учёта покатной молоди лососей в реках Сахалино-Курильского региона // Известия ТИНРО. Т. 162. С. 194–206.

REFERENCES

- Glubokovsky M.K., Marchenko S.L., Temnykh O.S., Shevlyakov E.A. 2017. Guidelines for the study of Pacific salmon. M.: VNIRO. 79 p.
 Kaev A.M. 2010. Methodological aspects of quantitative accounting of downstream salmon fry in the rivers of the Sakhalin-Kuril region // Izvestiya TINRO. V. 162. P. 194–206.

Поступила в редакцию 07.12.2021 г.

Отпечатано в типографии Book Jet
390005, г. Рязань, ул. Пушкина, д. 18
Сайт: <http://bookjet.ru>
Почта: info@bookjet.ru
Тел.: +7(4912) 466-151