

Год основания: 1928, под настоящим названием с 1937 г.

Импакт-фактор РИНЦ: 0,843

Периодичность: 4 раза в год

Журнал включен в Перечень ВАК как издание, имеющее переводную версию, которая входит в международные базы данных и системы цитирования (CA(pt), Scopus, Springer, WoS)

СМИ зарегистрировано Роскомнадзором, запись о регистрации ПИ № ФС77-73773 от 21 сентября 2018 г.

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ 509

Дуленин А.А. Характеристика сублиторальной растительности у северо-западного побережья Японского моря на основании концепции адаптивной зоны ... 509

Горбатенко К.М., Мельников И.В. Донно-пелагические связи гидробионтов в Карском море по данным $\delta^{15}\text{N}$ и $\delta^{13}\text{C}$ и питания рыб 548

Островский В.И. Закономерности воспроизводства кижуча *Oncorhynchus kisutch* в Хабаровском крае ... 568

Новикова О.В., Черноиванова Л.А. Современное состояние запасов и промысла наваги *Eleginus gracilis* (Tilesius, 1810) в западной части Берингова моря .. 580

Минакова Е.В., Жаткина О.В., Кашин Р.Д., Михайлова А.В., Козлова Н.В., Тихонова Э.Ю. О вселении черноморской мидии *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) в бассейн Каспийского моря 602

УСЛОВИЯ ОБИТАНИЯ ПРОМЫСЛОВЫХ ОБЪЕКТОВ 609

Бадмаев О.В. Содержание фенолов в морской среде прибрежных акваторий залива Петра Великого Японского моря 609

АКВАКУЛЬТУРА 629

Полтева А.В., Галанина Е.В. Условия воспроизводства молоди лососевых рыб на сахалинских рыбоводных заводах: кислородный, температурный режимы и санитарное состояние заводских водосточников .. 629

Крупнова Т.Н., Поньрко О.А. Результаты выращивания рассады ламинарии японской *Saccharina japonica* в Центре марикультуры на о. Попова (зал. Петра Великого, Японское море) 648

Пятикопова О.В., Бедрицкая И.Н., Попов Д.А., Тангатарова Р.Р. Опыт прудового выращивания красноклещевого рака в Астраханской области 659

Пятикопова О.В., Бедрицкая И.Н., Дьякова С.А., Попов Д.А., Тарасова О.Г., Макарова Е.В., Минакова Е.В., Жаткина О.В., Кашин Р.Д. Особенности условий садкового рыбоводства Астраханской области на примере р. Хурдун 670

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ 683

Волков А.Ф. Трофологический календарь лососей Охотского моря 683

Коцюк Д.В., Свиридов В.В., Поваров А.Ю. Опыт реализации и способы дальнейшей автоматизации беспилотного учета тихоокеанских лососей в Охотском районе Хабаровского края 705

Кулик В.В., Савин А.Б. Векторные авторегрессионные пространственно-временные (VAST) модели распределения биомассы трески *Gadus macrocephalus* (Gadidae) с учетом придонной температуры воды в Западно-Беринговоморской зоне 722

BIOLOGICAL RESOURCES 509

Dulenin A.A. Characteristics of sublittoral vegetation in the northwestern Tatar Strait based on the concept of adaptive zone 509

Gorbatenko K.M., Melnikov I.V. Bottom-pelagic links of hydrobionts in the Kara Sea according to data on $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ and feeding of fish 548

Ostrovsky V.I. Patterns of reproduction for coho salmon *Oncorhynchus kisutch* in the Khabarovsk Region 568

Novikova O.V., Chernoiwanova L.A. Current state for stocks and fishery of saffron cod *Eleginus gracilis* (Tilesius, 1810) in the western Bering Sea 580

Minakova E.V., Zhatkina O.V., Kashin R.D., Mikhailova A.V., Kozlova N.V., Tikhonova E.Yu. On introduction of Black Sea mussel *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) to the Caspian Sea basin 602

ENVIRONMENTS OF FISHERIES RESOURCES 609

Badmaev O.V. Phenol content in the marine environment of the coastal waters in Peter the Great Bay, Japan Sea 609

AQUACULTURE 629

Polteva A.V., Galanina E.V. Conditions for reproduction of juvenile salmon fish in Sakhalin fish hatcheries: oxygen, temperature conditions and sanitary state of factory water sources 629

Krupnova T.N., Ponyrko O.A. Results on growing the seedlings of laminaria *Saccharina japonica* in the Center of Mariculture on Popov Island (Peter the Great Bay, Japan Sea) 648

Pyatikopova O.V., Bedritskaya I.N., Popov D.A., Tangatarova R.R. Experience of pond cultivation for red-clawed crayfish in the Astrakhan Region 659

Pyatikopova O.V., Bedritskaya I.N., Diakova S.A., Popov D.A., Tarasova O.G., Makarova E.V., Minakova E.V., Zhatkina O.V., Kashin R.D. Features of environments for cage fish farming in the Astrakhan Region on example of the Khurdun River 670

METHODS OF INVESTIGATIONS 683

Volkov A.F. Trophological calendar of salmon in the Okhotsk Sea 683

Kotsyuk D.V., Sviridov V.V., Povarov A.Yu. Experience of implementation and approaches for further automation in unmanned aerial counting of pacific salmon in the Okhotsk district of Khabarovsk Region 705

Kulik V.V., Savin A.B. Vector Autoregressive Spatio-Temporal (VAST) models for biomass distribution of pacific cod *Gadus macrocephalus* (Gadidae) considering water temperature at the sea bottom in the West Bering Sea zone 722

Учредитель:

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (ФГБНУ «ВНИРО»)

Издатель:

Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»)

Главный редактор — В.П. Шунтов, доктор биологических наук, профессор

Editor-in-chief — Shuntov Vyacheslav Petrovich, Dr. Biol. Sci., chief researcher of Pacific branch of VNIRO (TINRO), Honored Scientist of the RF, Honored Worker of Fisheries of the RF

Редакционная коллегия:

А.А. Байталюк, канд. биол. наук, заместитель директора — руководитель ТИНРО; *В.Н. Акулин*, канд. биол. наук, главный специалист, ТИНРО; *Р.Дж. Бимши*, д-р биол. наук, почетный научный сотрудник Департамента рыболовства и океанов, Канада; *И.В. Волвенко*, д-р биол. наук, главный научный сотрудник, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН; *А.Ф. Волков*, д-р биол. наук, главный научный сотрудник, ТИНРО; *Дэлин Дуан*, д-р биол. наук, проф. Океанологического института экспериментальной морской биологии, Китайская академия наук; *Е.П. Дулепова*, д-р биол. наук, главный научный сотрудник, ТИНРО; *О.В. Зелеников*, д-р биол. наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный университет; *В.Н. Иванов*, д-р биол. наук, проф. ДВФУ; *О.А. Иванов*, д-р биол. наук, главный научный сотрудник, ТИНРО (*заместитель главного редактора*); *Дж. Ирвайн*, д-р биол. наук, научный сотрудник Министерства рыболовства и океанов Канады; *Н.В. Колпаков*, д-р биол. наук, руководитель СахНИРО (*заместитель главного редактора*); *Ли Вэй*, д-р биол. наук, проф. Колледж продовольственных исследований и инженерии, Университет океана, Далянь, Китай; *В.А. Лучин*, д-р геогр. наук, ведущий научный сотрудник ФГБНУ «ТОИ ДВО РАН»; *О.Я. Мезенова*, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой ФГБОУ ВПО «КГТУ»; *Д. Морисита*, д-р биол. наук, Советник министра, Министерство сельского хозяйства, лесного хозяйства и рыболовства Японии; *А.М. Орлов*, д-р биол. наук, главный научный сотрудник, руководитель лаборатории Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН; *Е.А. Пахомов*, канд. биол. наук, профессор университета Британской Колумбии, профессор Института океанов и рыболовства, Ванкувер, Канада; *Р. Рикашевски*, д-р геогр. наук, руководитель научных исследований в области морского хозяйства, Научно-исследовательский центр рыболовства тихоокеанских островов NOAA, США; *Г. Руггерон*, д-р биол. наук, почетный ученый, изучающий лосось, Вашингтонский университет, факультет водных и рыбных наук, США; *Т.Н. Слуцкая*, д-р техн. наук, проф., главный научный сотрудник, ТИНРО; профессор, Дальрыбвтуз; *Н.С. Самойлова*, начальник отдела издательство, ТИНРО (*ответственный секретарь*)

Editorial board:

Baitalyuk Aleksei A., deputy head of VNIRO — head of Pacific branch of VNIRO (TINRO), Vladivostok, Russia; *Akulin Valery N.*, chief specialist (TINRO); *Beamish Richard J.*, Emeritus Scientist at Fisheries and Oceans Canada; *Volvenko Igor V.*, chief researcher, A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution RAS; *Volkov Anatoly F.*, chief researcher (TINRO); *Delin Duan*, Professor at Experimental Marine Biology Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences; *Dulepova Elena P.*, chief researcher (TINRO); *Oleg V. Zelennikov*, assistant professor, St. Petersburg State University; *Ivankov Vyacheslav N.*, Professor at Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia; *Ivanov Oleg A.*, chief researcher (TINRO) (*Deputy Chief Editor*); *Irvine James P.*, research scientist at Fisheries and Oceans Canada, Pacific Biological Station; *Kolpakov Nikolai V.*, head of Sakhalin branch of VNIRO (SakhNIRO), Russia (*Deputy Chief Editor*); *Li Wei*, Professor at College of Food Science and Engineering, Ocean University of China, Dalian, China; *Luchin Vladimir A.*, leading researcher at Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia; *Mezenova Olga Y.*, Professor, head of chair at Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia; *Morishita Joji*, Advisor to the Minister, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Japan; *Orlov Aleksei M.*, chief researcher, head of laboratory at P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS; *Pakhomov Evgeny A.*, Professor at University of British Columbia, Professor of Institute for the Oceans and Fisheries, Canada; *Rykcaczewski Ryan*, Supervisory Research Marine Scientist, NOAA Pacific Islands Fisheries Science Center, USA; *Ruggerone Gregory T.*, emeritus salmon scientist, University of Washington, School of Aquatic and Fishery Sciences, U.S.A.; *Slutskaya Tatyana N.*, Professor, chief researcher (TINRO), Professor at Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia; *Samoylova Nina S.*, Head of Publishing Department (TINRO) (*Executive Secretary*)

Адрес учредителя:

105187, г. Москва, проезд Окружной, дом 19

Адрес издателя:

690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

Адрес редакции:

690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

Телефон: (423) 2400-509

Факс: (423) 2300751

e-mail: izvestiya@tinro.vniro.ru

Сайт: <http://izvestiya.tinro-center.ru>

Том к печати подготовили:

начальник издательства Н.С. Самойлова
редакторы С.О. Шумкова, А.А. Ваккер
корректоры Л.Н. Иванова, Т.А. Бубенцова
переводчики Ю.И. Зуенко, Е.П. Швецов
компьютерная верстка О.В. Степановой
Подписано в печать 13.09.2024 г. Формат 70x108/16.
Печ. л. 14,75. Уч.-изд. л. 13,7. Тираж 50 экз.
Заказ № 9. Цена 660 р.
Выход тома в свет 25.09.2024 г.
Отпечатано в издательстве ТИНРО
690091, Владивосток, ул. Западная, 10

**БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ
BIOLOGICAL RESOURCES**

Научная статья

УДК 574.58(265.54)

DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-509-547

EDN: PTPBAS

**ХАРАКТЕРИСТИКА СУБЛИТОРАЛЬНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ
У СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ЯПОНСКОГО МОРЯ
НА ОСНОВАНИИ КОНЦЕПЦИИ АДАПТИВНОЙ ЗОНЫ**

А.А. Дуленин*

Хабаровский филиал ВНИРО (ХабаровскНИРО),
680038, г. Хабаровск, Амурский бульвар, 13а

Аннотация. На материалах водолазной съемки 2010 г. с использованием данных, полученных с 1999 по 2023 г. у северо-западного побережья Японского моря, описана сублиторальная растительность. На основании концепции адаптивной зоны выделено 16 ассоциаций (*Ulvetum fenestratae*, *Saccharinetum japonicae*, *S. cichorioidea*, *Kjellmaniellum crassifoliae*, *Costarietum costariae*, *Agaretum clathratae*, *Desmarestetum viridae*, *Sargassetum miyabeae*, *S. pallidae*, *Stephanocystetum crassipae*, *Bossielletum compressae*, *Ptilotetum asplenioidea*, *Odonthalietum corymbiferae*, *Zosteretum marinae*, *Z. asiatica*, *Phyllospadicetum iwatensis*) и группа сообществ корковых известковых водорослей. Ассоциации представляют собой мозаики адаптивных зон своих главных доминантов. Они формируют элементарные петерсеновские сообщества, в которых в среднем 58 % покрытия дна и 53 % удельной биомассы образовано главным доминантом. Ассоциации верхнего яруса могут быть опознаны визуально. С помощью подводных роботов возможна оценка проективного покрытия главного доминанта каждой ассоциации и их субдоминантов. Возможности визуального опознания видов подчиненных ярусов и количественных оценок их покрытия ограничены. Общая площадь, занятая ассоциациями растительности, — 217 км². Суммарная биомасса растительности в пределах ассоциаций оценена в 1248 тыс. т, из которых биомасса главных доминантов ассоциаций — 709 тыс. т. Промысловые запасы макрофитов района формируются в пределах их ассоциаций и оценены в 316 тыс. т, из которых запас единственного осваиваемого промыслом вида — *Saccharina japonica* — 94 тыс. т. Выполненные оценки не имеют статистически значимых отличий от сделанных ранее ($p = 0,79$), что позволяет использовать концепцию адаптивной зоны для учета промысловых ресурсов сублиторальной растительности.

Ключевые слова: северо-западная часть Татарского пролива, сублитораль, ассоциации растительности, концепция адаптивной зоны, Японское море

Для цитирования: Дуленин А.А. Характеристика сублиторальной растительности у северо-западного побережья Японского моря на основании концепции адаптивной зоны // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 3. — С. 509–547. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-509-547. EDN: PTPBAS.

* Дуленин Александр Алексеевич, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, dulenin@mail.ru, ORCID 0000-0002-3491-6805.

© Дуленин А.А., 2024

Characteristics of sublittoral vegetation at the northwestern coast of the Japan Sea based on the concept of adaptive zone

Alexander A. Dulenin

Khabarovsk branch of VNIRO (KhabarovskNIRO),
13a, Amursky Boulevard, Khabarovsk, 680038, Russia

Ph.D., leading researcher, dulenin@mail.ru, ORCID 0000-0002-3491-6805

Abstract. On materials of the diving survey conducted in 2010, using additional data obtained from 1999 to 2023, sublittoral vegetation at the northwestern coast of the Japan Sea is described. Basing on the concept of adaptive zone, 16 associations are identified (*Ulvetum fenestratae*, *Saccharinetum japonicae*, *S. cichorioidea*, *Kjellmaniellum crassifoliae*, *Costarietum costariae*, *Agaretum clathratae*, *Desmarestetum viridae*, *Sargassetum miyabae*, *S. pallidae*, *Stephanocystetum crassipae*, *Bossielletum compressae*, *Ptilotetum asplenioidae*, *Odonthalietum corymbiferae*, *Zosteretum marinae*, *Z. asiatica*, *Phyllospadicetum iwatensis*) and a group of communities of encrusting calcareous algae. These associations are not abstract classification units, but mosaics of homogeneous adaptive zones of their main dominants considered as elementary Petersen-type communities where on average 58 % of bottom cover and 53 % of biomass are formed by the main dominant species. The associations of the upper layer can be identified visually, with assessing the projective coverage of main dominants and subdominants for each of them using underwater drones. Visual identifying for subordinate species is less available, as well as quantitative assessment of their coverage. The total area occupied by the vegetation associations is 217 km², i.e. about 2/3 of the total vegetation belt. The total biomass of vegetation within the associations is estimated as 1248 · 10³ t, of which the biomass of the main dominants is 709 · 10³ t. Commercial and potentially commercial resources of macrophytes are generally confined to their associations, that allows to estimate the total stock in 324 · 10³ t, including 94 · 10³ t of the only commercially used species *Saccharina japonica*. These stock values have no statistically significant difference from earlier estimations (p = 0.79), that approves using the concept of adaptive zone for assessment of commercial resources of subtidal vegetation.

Keywords: northwestern Tatar Strait, sublittoral vegetation, algae association, adaptive zone, Japan Sea

For citation: Dulenin A.A. Characteristics of sublittoral vegetation in the northwestern Tatar Strait based on the concept of adaptive zone, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 3, pp. 509–547. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-509-547. EDN: PTPBAS.

Введение

Морские побережья Хабаровского края протянулись более чем на 2 тыс. км Японского и Охотского морей и имеют богатый пояс подводной морской растительности [Ресурсы..., 2020]. Однако подробные описания растительных сообществ этих районов до недавнего времени отсутствовали. Детальное описание состава и структуры растительных ассоциаций охотоморских побережий края уже дано [Дуленин, 2023]. Что касается северо-западного побережья Японского моря (СЗЯМ), ассоциации этого района ранее были выделены предварительно [Дуленин, 2008] и не могут быть верифицированы. Позднее по данным, которые использованы и в настоящей статье, растительные ассоциации сублиторали района были выделены еще раз, на принципах верифицируемости [Дуленин, 2021]. Однако они были лишь перечислены, подробные их характеристики не приводились.

Стоит отметить, что сублиторальные растительные сообщества российской части Японского моря изучены фрагментарно. Большинство работ касаются зал. Петра Великого. Растительность залива обсуждается более чем в 30 работах, которые перечислили Т.Л. Калита и А.В. Скрипцова [2014], констатируя тем не менее ее недоисследованность. Ассоциации растительности здесь выделила только Л.П. Перестенко [1980], не дав, однако, их количественных характеристик. Другие ис-

следователи ограничивались лишь описаниями отдельных фитоценозов [Скарлато и др., 1967; Дальневосточный морской биосферный заповедник, 2004; Skriptsova, Levenetz, 2012; Скрипцова и др., 2013, 2018; Калита, Скрипцова, 2018; и др.]. С разной степенью подробности представлены сублиторальные фитоценозы некоторых других участков Приморья [Гусарова, 1984, 2010; Паймеева, Гусарова, 1993; Кашенко, 1999]. Были охарактеризованы фитоценозы на нескольких участках южного Сахалина [Голиков и др., 1985] и о. Монерон [Фадеев, 1985]. У берегов юго-западного Сахалина ассоциации морской растительности описали К.М. Петров, В.Б. Поздеев [1992] и К.М. Петров [2004], но привели только общие сведения об их удельной биомассе и проективном покрытии ассоциации, без каких-либо статистических данных. Н.Г. Ключкова [1996] указала некоторые ассоциации Татарского пролива также без их количественных и качественных характеристик. В целом до сих пор не было опубликовано подробных верифицируемых описаний сублиторальных ассоциаций больших районов Японского моря.

Чтобы установить общие для растительных ассоциаций района черты их структуры, необходимо было выявить долю главного доминанта (ГД) в общем обилии каждой ассоциации района.

Поскольку существует проблема опознания на местности ранее выделенных сообществ [Разумовский, 2011], проводилась оценка возможностей визуальной идентификации и описания выделенных ассоциаций посредством визуальных наблюдений с борта малых ТНПА (телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов, или подводных роботов), используемых в последние годы в практике гидробиологических исследований [Дуленин и др., 2022].

Так как ранее [Дуленин, 2023] было показано, что промысловые запасы макрофитов приурочены к участкам их адаптивных зон (АЗ), формирующих растительные ассоциации, было необходимо оценить объем ресурсов, сформированных в таких ассоциациях.

Таким образом, цель настоящей статьи — оценить качественные, количественные и пространственные характеристики растительных ассоциаций и выполнить их инвентаризацию.

Материалы и методы

Использованы материалы экспедиций «ХабаровскНИРО» с 1999 по 2023 г. (рис. 1, табл. 1). Исследованиями охвачена вся прибрежная зона Татарского пролива в пределах Хабаровского края от мыса Туманного (47°24' N 139°03' E) на юге до мыса Южного (51°40' N 141°06' E) на севере. Основной объем материала (710 гидробиологических станций) собран в 2010 г. с борта научно-исследовательского судна «Потанино». Сборы выполняли водолазным способом [Изучение..., 2005] с использованием подводной фото- и видеоаппаратуры и малых подводных роботов [Дуленин и др., 2022]. Обследовали глубины от 2 до 22 м. Делали разрезы из серий станций перпендикулярно берегу. Расстояние между разрезами зависело от однородности рельефа и подводной растительности, составляло от 0,5 до 6,0 мили, в среднем 2,0 мили. Количество станций на разрезе — от 2 до 6 на расстоянии от 10 до 500 м друг от друга, в зависимости от уклона дна и характера смены ценоотических поясов. Автором лично выполнено не менее 300 водолазных станций.

Удельную биомассу (УБМ, кг/м²) количественных проб со дна учитывали путем отбора с площадок в 0,25 м² с последующим пересчетом на 1 м². Проективное покрытие (ПП) определяли глазомерным способом путем осмотра 1–100 м² дна, в зависимости от характера поселений и видимости. Для удобства ПП указывали в долях от единицы [Миркин и др., 1989]. Для характеристики условий распространения растительных ассоциаций указывали гранулометрический состав грунта и уклон дна [Арзамасцев, Преображенский, 1990]. Участки распространения сообществ указаны

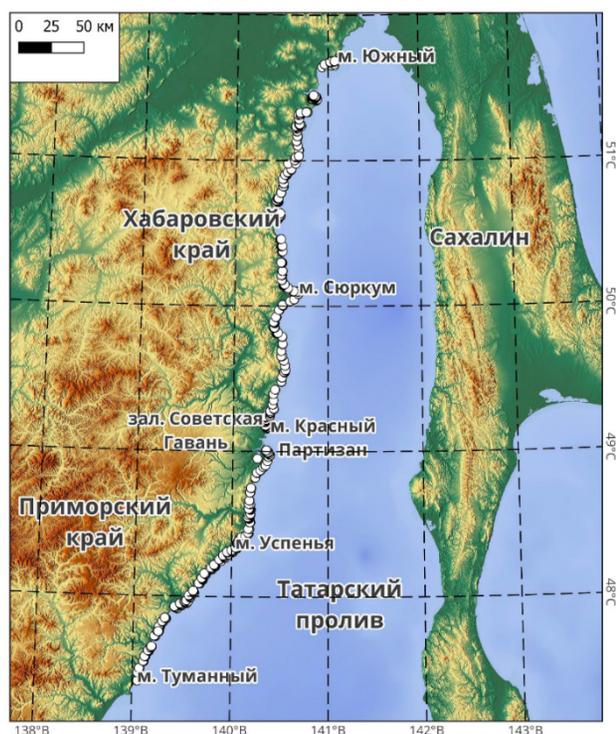


Рис. 1. Район исследований у северо-западного побережья Японского моря, 1999–2023 гг.

Fig. 1. The study area at the northwestern coast of the Japan Sea in 1999–2023

по лощи*. Статистическая значимость различий оценок промысловых ресурсов макрофитов, выполненных разными способами, оценена с помощью критерия Манна-Уитни**.

Виды растений идентифицированы с помощью имеющихся определителей [Перестенко, 1994; Клочкова, 1996]. Описание ассоциаций выполнено по выработанной ранее методике [Дуленин, 2021] и дано в соответствии с предложенной формой [Дуленин, 2023]. В качестве промысловых поселений учитывали монодоминантные фитоценозы, т.е. те, в которых растительный покров формировал единственный главный доминант, а доминанты подчиненных ярусов и субдоминанты отсутствовали. Ассоциации поименованы в соответствии с рекомендациями Международного кодекса фитосоциологической номенклатуры (МКФН) [Терийа и др., 2022]. Поскольку требования МКФН позволяют выделять ассоциацию по единственному описанию [Терийа и др., 2022, ст. 7], в работе приведено только по одному первичному описанию каждой ассоциации, принятому в качестве ее номенклатурного типа (*holotypus hoc loco*). В качестве таких описаний использованы фрагменты стандартных электронных таблиц с первичными данными водозащитных съемок. Однако, так как выделение ассоциации логически предполагает объединение некоторого множества однотипных фитоценозов, в ассоциации объединены множества из не менее чем 3 таких фитоценозов по единственному признаку — общему ГД в соответствии с концепциями АЗ и элементарного петерсеновского сообщества (ЭПС) [Волвенко, 2018; Дуленин, 2023]. Кроме того, поскольку совокупность первичных описаний составляет коммерческую тайну и имеет ведомственную принадлежность, автор, выполнив обязательные требования ст. 7 МКФН, воздерживается от выполнения рекомендации 7А МКФН относительно приведения хотя бы 10 первичных описаний в оригинальном диагнозе ассоциации. Вместо этого таблицы с характеристиками ассоциаций содержат обобщенные описательные

* Лощия Татарского пролива, Амурского лимана и пролива Лаперуза. СПб.: ГУНИО МО РФ, 2003. С. 10–193.

** Hammer Ø. PAST: Paleontological statistics. Version 4.16. Reference manual. Oslo: Natural History Museum. Univ. of Oslo, 1999–2024. 314 p.

статистики всех имеющихся описаний каждой ассоциации. Все фитоценологические описания выполнены автором. База данных с первичными описаниями, количественными и качественными характеристиками выделенных ассоциаций (фитоценотека) хранится в Хабаровском филиале ВНИРО.

Результаты и их обсуждение

В результате выполненных исследований получены количественные оценки обилия следующих 43 вида и многовидовых групп макрофитов: зеленые водоросли отдела Chlorophyta (Reichenbach) — *Acrosyphonia duriuscula* (Ruprecht) Yendo, *Codium fragile* (Suringar) Hariot, *Ulva fenestrata* Postels et Ruprecht, бурые водоросли класса Phaeophyceae (Kjellman) — *Analipus japonicus* (Harvey) M.J. Wynne, *Ralfsia fungiformis* (Gunnerus) Setchell et N.L. Gardner, *Petalonia fascia* (O.F. Müller) Kuntze, *Desmarestia viridis* (O.F. Müller) J.V. Lamouroux, *Chorda asiatica* Sasaki et Kawai, *Chordaria flagelliformis* (O.F. Müller) C. Agardh, *Saccharina japonica* (Areschoug) C.E. Lane, C. Mayes, Druehl et G.W. Saunders, *S. cichorioides* (Miyabe) C.E. Lane, C. Mayes, Druehl et G.W. Saunders, *S. angustata* (Kjellman) C.E. Lane, C. Mayes, Druehl et G.W. Saunders, *Kjellmaniella crassifolia* Miyabe, *Alaria* sp., *Costaria costata* (C. Agardh) De A. Saunders, *Agarum clathratum* Dumortier, *Sargassum miyabei* Yendo, *S. pallidum* (Turner) C. Agardh, *Stephanocystis crassipes* (Mertens ex Turner) Draisma, Ballesteros, F. Rousseau Thibant, красные водоросли отдела Rhodophyta (Wettstein) — *Porphyra* spp. C. Agardh, *Callophyllis rhynchocarpa* Ruprecht, *Tichocarpus crinitus* (S.G. Gmelin) Ruprecht, *Bossiella compressa* Kloczcova, *Corallina officinalis* Linnaeus, *C. pilulifera* Postels et Ruprecht, *Devaleraea stenogona* (Perestenko) Skriptsova et Kalita, *Mazzaella parksii* (Bory) Fredericq, *Chondrus pinnulatus* (Harvey) Okamura, *C. armatus* (Harvey) Okamura, *Sparlingia pertusa* (Postels et Ruprecht) G.W. Saunders, I.M. Strachan et Kraft, *Ahnfeltia plicata* (Hudson) Fries, *Ptilota filicina* J. Agardh, *P. asplenioides* (Esper) C. Agardh, *Neohypophyllum middendorffii* (Ruprecht) M.J. Wynne, *Congregatocarpus kurilensis* (Ruprecht) M.J. Wynne, *Neorhodomela larix* (Turner) Masuda, *Laurencia nipponica* Yamada, *Odonthalia corymbifera* (S.G. Gmelin) Greville, *O. setacea* (Ruprecht) Perestenko, *O. ochotensis* (Ruprecht) J. Agardh, группа корковых известковых водорослей (КИВ) и морские травы семейства Zosteraceae (Dumortier) — *Phyllospadix iwatensis* Miki, *Zostera asiatica* Makino, *Z. marina* Linnaeus. Из них собственные ассоциации обнаружены для 16 видов макрофитов, кроме того, отдельную группу сообществ образуют КИВ. Характеристики выделенных ассоциаций и сообществ приведены ниже.

Ассоциация *Ulvetum fenestratae* ass. nov. hoc loco, номенклатурный тип (holotypus hoc loco) приведен в табл. 1. Диагностический вид — *Ulva fenestrata*. Количество описаний — 4. Ассоциация локальная (рис. 2, табл. 2). Формировалась

Таблица 1

Номенклатурный тип асс. *Ulvetum fenestratae*.

Фрагмент электронной таблицы с первичным описанием

Table 1

Nomenclature type of the association *Ulvetum fenestratae*.

The spreadsheet fragment with primary description

Дата	Участок	№ станции	Широта, град.	Долгота, град.	Глубина, м	Грунт	Макрофит	ПП, доля	УБМ, кг/м ²	Ярус
14.07.10	Рейд Сюркум	271	50,099	140,67	9	Глыбы	<i>Neohypophyllum middendorffii</i>		0,10	II
«	«	«	«	«	«	«	<i>Ulva fenestrata</i>	0,40	0,30	II
«	«	«	«	«	«	«	<i>Tichocarpus crinitus</i>		0,05	II
«	«	«	«	«	«	«	<i>Phyllospadix iwatensis</i>		0,15	I
«	«	«	«	«	«	«	<i>Agarum clathratum</i>		0,05	I
«	«	«	«	«	«	«	<i>Stephanocystis crassipes</i>	0,02	0,60	I

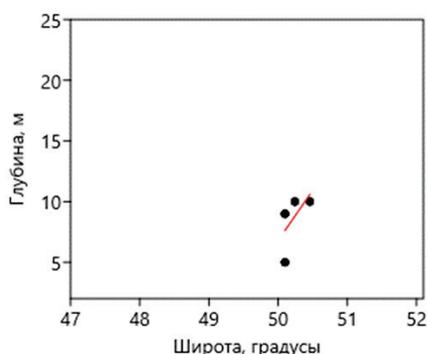


Рис. 2. Физиономический облик асс. *Ulvetum fenestratae* (слева) и ее распространение у северо-западного побережья Японского моря (справа)

Fig. 2. Physiognomic appearance of the association *Ulvetum fenestratae* (left) and its distribution at the northwestern coast of the Japan Sea (right)

Таблица 2
Качественные и количественные характеристики ассоциации *Ulvetum fenestratae* у северо-западного побережья Японского моря

Table 2
Qualitative and quantitative characteristics of the association *Ulvetum fenestratae* at the northwestern coast of the Japan Sea

№ вида	Вид	ПП, доля						УБМ, кг/м ²						ЧВА, %
		N	Min	Max	M	SE	Med	N	Min	Max	M	SE	Med	
1	<i>Desmarestia viridis</i>	2	0,07	0,10	0,09	0,02	0,09	2	0,10	0,60	0,35	0,25	0,35	50
2	<i>Stephanocystis crassipes</i>	2	0,02	0,10	0,06	0,04	0,06	2	0,60	1,00	0,80	0,20	0,80	50
3	<i>Agarum clathratum</i>	1	0,03	0,03	0,03	—	0,03	2	0,05	0,40	0,23	0,18	0,23	50
4	<i>Phyllospadix iwatensis</i>	1	0,03	0,03	0,03	—	0,03	2	0,15	0,20	0,18	0,03	0,18	50
	I ярус, Σ	3	0,02	0,23	0,12	0,06	0,10	3	0,80	1,30	1,03	0,15	1,00	75
5	<i>Ulva fenestrata</i> ГД	4	0,30	0,50	0,40	0,04	0,40	4	0,20	0,80	0,43	0,13	0,35	100
6	<i>Codium fragile</i>	1	0,10	0,10	0,10	—	0,10	1	2,00	2,00	2,00	—	2,00	25
7	<i>Neohyroph. middendorfi</i>	1	Н.д	Н.д.	Н.д	Н.д	Н.д	1	0,10	0,10	0,10	—	0,10	25
8	<i>Tichocarpus crinitus</i>	1	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	1	0,05	0,05	0,05	—	0,05	25
	II ярус, Σ	4	0,32	0,61	0,45	0,06	0,43	4	0,28	2,45	1,05	0,48	0,73	100
9	<i>Bossiaella compressa</i>	1	0,20	0,20	0,20	—	0,20	1	0,60	0,60	0,60	—	0,60	25
	III ярус, Σ	1	0,20	0,20	0,20	—	0,20	1	0,60	0,60	0,60	—	0,60	25
10	КИВ Д4	2	0,10	0,40	0,25	0,15	0,25	2	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	50
	IV ярус, Σ	2	0,10	0,40	0,25	0,15	0,25	2	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	50
	Σ	4	0,47	1,21	0,71	0,17	0,58	4	1,45	3,05	1,97	0,37	1,69	100

Примечания. В этой и последующих таблицах с качественными и количественными характеристиками ассоциаций: N — количество станций, на которых вид отмечен в пределах данной ассоциации; Min — минимум; Max — максимум; M — среднее; SE — стандартная ошибка; Med — медиана; ЧВА — частота встречаемости в ассоциации; Д — доминант с номером своего яруса; Н.д — нет данных. Полу жирным выделены виды (группы видов) и ярусы с превышением порогов доминирования.

на ограниченных участках к северу от мыса Сюркум и у мысов Голода и Медный. Отмечена на глубинах от 5 до 11 м. Тренд распределения фитоценозов ассоциации в районе ($\alpha = 8,2 \pm 2,7$, $R^2 = 0,32$, $p = 0,07$) показывает относительную приуроченность ассоциации к глубинам 10–11 м.

Растения верхнего яруса в пределах ассоциации расположены редко, ни один вид не создает выраженного растительного покрова. *Stephanocystis crassipes* достигает максимальной УБМ в 1 кг/м², однако ПП при этом не превышает 0,1, т.е. эти растения расположены поодиночке, разреженно. Таким образом, верхний ярус в ассоциации не фор-

мируется. Впрочем, в данном случае, вероятно, что это наблюдение не закономерность, а следствие недостатка статистики: частота встречаемости (ЧВ) ассоциации мала, поэтому ее характеристика дана всего по четырем гидробиотическим описаниям. Следует полагать, что новые описания существенно дополняют сведения о ее структуре и составе.

Во II ярусе располагается ГД ассоциации — *Ulva fenestrata*. При ПП 0,3–0,5 вид образует выраженный растительный покров, занимая на участках своего доминирования наибольшую долю поверхности субстрата. Несмотря на то что массивные растения *Codium fragile*, следующего по ПП вида этого яруса, имели УБМ 2 кг/м², их ПП при этом составляло лишь 0,1, и поэтому здесь вид рассматривается в качестве сопутствующего, как и прочие виды этого яруса — *Neohypophyllum middendorffii* и *Tichocarpus crinitus*. Из растений III яруса отмечена только *Bossiella compressa* с небольшим ПП. Это не позволяет выделить самостоятельный III ярус в рассматриваемой ассоциации. КИВ присутствуют в половине (2 из 4), а на одной станции КИВ формируют самостоятельный IV ярус. Ассоциация хорошо опознаваема. Покрытие ГД легко оценить с ТНПА. Доминанты IV яруса (КИВ) также легко опознаются, однако визуальные оценки ПП могут быть занижены при хорошо развитом покрытии ГД.

Ранее сообщества *U. fenestrata* описаны в Приморье [Перестенко, 1980] и у берегов западного Сахалина [Петров, Поздеев, 1992]. Вероятно, они могут быть обнаружены во всех дальневосточных морях России. В задачи работы не входило детальное сравнение качественного и количественного состава сообществ разных районов, поэтому здесь и далее мы ограничиваемся краткими указаниями относительно их распространения на Дальнем Востоке России.

Ассоциация *Saccharinetum japonicae* ass. nov. hoc loco, номенклатурный тип (holotypus hoc loco) приведен в табл. 3. Диагностический вид — *Saccharina japonica*. Количество описаний — 46. Ассоциация (рис. 3, табл. 4) региональная, распространена на южном участке СЗЯМ: от бухты Нельма до мыса Сюркум. К северу от мыса Сюркум она замещается викарирующей ассоциацией *Saccharinetum cichorioidae*. Формируется у открытых и полузащищенных побережий на скалистых, валунных, глыбовых и галечных грунтах при уклоне дна от незаметного до крутого, на вершинах глыб и на склонах подводных скальных хребтов. Располагается на глубинах от 2 до 15 м. Статистически значимый тренд ($\alpha = -0,75 \pm 0,20$, $R^2 = 0,005$, $p = 0,0003$) показывает некоторое увеличение глубин формирования ассоциации к югу (рис. 3). На мелководьях от 1–2 до 6 м образует характерные сплошные либо прерывистые пояса шириной от 30–50 до 300 м и

Таблица 3

Номенклатурный тип асс. *Saccharinetum japonicae*.
Фрагмент электронной таблицы с первичным описанием

Table 3

Nomenclature type of the association *Saccharinetum japonicae*.
The spreadsheet fragment with primary description

Дата	Участок	№ станции	Широта, град.	Долгота, град.	Глубина, м	Грунт	Макрофит	ПП, доля	УБМ, кг/м ²	Ярус
15.07.10	Мыс Аукан	301	49,9253	140,441	3	Валуны	<i>Saccharina cichorioides</i>		0,80	I
«	«	«	«	«	«	«	<i>Sargassum pallidum</i>		4,00	I
«	«	«	«	«	3	«	<i>Tichocarpus crinitus</i>		1,20	II
«	«	«	«	«	«	«	<i>Ptilota asplenioides</i>		0,08	II
«	«	«	«	«	«	«	<i>Corallina officinalis</i>	0,05	0,20	III
«	«	«	«	«	«	«	<i>Phyllospadix iwatensis</i>	0,10	1,00	I
«	«	«	«	«	«	«	<i>Stephanocystis crassipes</i>	0,30	4,00	I
«	«	«	«	«	«	«	<i>Cjstaria costata</i>		1,20	I
«	«	«	«	«	«	«	<i>Saccharina japonica</i>	0,70	6,00	I
«	«	«	«	«	«	«	<i>Kjellmaniella crassifolia</i>	0,01	0,05	I

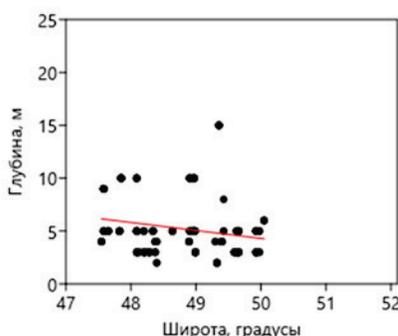


Рис. 3. Физиономический облик асс. *Saccharineta japonicae* (слева) и ее распространение у северо-западного побережья Японского моря (справа)

Fig. 3. Physiognomic appearance of the association *Saccharineta japonicae* (left panel) and its distribution at the northwestern coast of the Japan Sea (right panel)

Таблица 4

Качественные и количественные характеристики асс. *Saccharineta japonicae* у северо-западного побережья Японского моря

Table 4

Qualitative and quantitative characteristics of the association *Saccharineta japonicae* at the northwestern coast of the Japan Sea

№ вида	Вид	ПП, доля						УБМ, кг/м ²						ЧВА, %
		N	Min	Max	M	SE	Med	N	Min	Max	M	SE	Med	
1	<i>Saccharina japonica</i> ГД	46	0,30	1,00	0,54	0,03	0,50	46	0,30	24,00	5,93	0,65	5,0	100
2	<i>Phyllospadix iwatensis</i> С1	15(4)	0,01	0,40	0,16	0,03	0,15	15	0,05	4,00	1,64	0,35	1,50	33
3	<i>Stephanocystis crassipes</i> С1	15(9)	0,05	0,40	0,24	0,03	0,30	15	0,10	4,00	1,74	0,34	2,00	33
4	<i>Costaria costata</i> С1	13(2)	0,02	0,30	0,07	0,02	0,05	13	0,02	1,20	0,29	0,11	0,10	28
5	<i>Sargassum pallidum</i> С1	7(4)	0,10	0,40	0,28	0,08	0,30	7	0,50	16,0	4,11	2,07	2,30	15
6	<i>Alaria</i> sp. С1	5(1)	0,05	0,30	0,15	0,06	0,13	5	0,10	0,50	0,28	0,07	0,20	11
7	<i>Alarum clathratum</i>	6	0,03	0,20	0,10	0,03	0,08	8	0,05	3,00	0,68	0,34	0,40	17
8	<i>Desmarestia viridis</i>	5	0,01	0,20	0,13	0,04	0,20	6	0,02	0,56	0,26	0,09	0,25	13
9	<i>Saccharina cichorioides</i>	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	4	0,05	0,80	0,39	0,17	0,35	9
10	<i>Kjellmaniella crassifolia</i>	3	0,01	0,10	0,05	0,03	0,05	3	0,05	0,10	0,07	0,02	0,05	7
11	<i>Sargassum miyabei</i>	3	0,01	0,05	0,02	0,01	0,01	3	0,20	0,20	0,20	–	0,20	7
	I ярус, Σ	46(17)	0,31	1,00	0,77	0,03	0,80	46	1,20	18,70	7,41	0,58	7,28	100
12	<i>Tichocarpus crinitus</i> Д2	6(3)	0,10	0,50	0,30	0,08	0,30	6	0,05	3,00	1,16	0,42	1,15	13
13	<i>Odonthalia corymbifera</i> Д2	5(1)	0,20	0,30	0,25	0,05	0,25	5	0,02	0,80	0,36	0,15	0,28	11
14	<i>Odonthalia setacea</i> Д2	1(1)	0,50	0,50	0,50	–	0,50	1	0,20	0,20	0,20	0	0,20	2
15	<i>Pilota filicina</i>	2(1)	0,05	0,80	0,43	0,38	0,43	3	0,15	8,00	3,12	2,46	1,20	7
16	<i>Ulva fenestrata</i>	4	0,10	0,20	0,18	0,03	0,20	5	0,01	0,30	0,19	0,07	0,30	11
17	<i>Devaleraea stenogona</i>	2	0,10	0,10	0,10	–	0,10	2	0,20	0,40	0,30	0,10	0,30	4
18	<i>Ptilota asplenioides</i>	2	0,10	0,20	0,15	0,05	0,15	6	0,05	1,60	0,50	0,25	0,24	13
19	<i>Neohypophyllum middendorffii</i>	2	0,05	0,05	0,05	–	0,05	6	0,03	0,20	0,09	0,03	0,07	13
20	<i>Codium fragile</i>	1	0,40	0,40	0,40	–	0,40	1	4,00	4,00	4,00	–	4,00	2
21	<i>Neorhodomela larix</i>	1	0,10	0,10	0,10	–	0,10	2	0,04	0,15	0,10	0,06	0,10	4
22	<i>Mazzaella parksii</i>	1	0,05	0,05	0,05	–	0,05	1	0,02	0,02	0,02	–	0,02	2
23	<i>Chondrus pinnulatus</i>	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	1	0,80	0,80	0,80	–	0,80	2
24	<i>Chordaria flagelliformis</i>	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	1	0,40	0,40	0,40	–	0,40	2
25	<i>Laurencia nipponica</i>	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	1	0,30	0,30	0,30	–	0,30	2
	II ярус, Σ	36(18)	0,02	1,00	0,36	0,06	0,23	37	0,28	8,20	1,52	0,26	0,80	80
26	<i>Corallina officinalis</i> Д3	16(8)	0,01	0,90	0,31	0,07	0,20	16	0,10	3,60	0,52	0,25	0	35
27	<i>Bossiella compressa</i> Д3	9(6)	0,10	0,80	0,37	0,07	0,30	9	0,30	2,40	1,08	0,23	0,90	20
28	<i>Corallina pilulifera</i> Д3	6(6)	0,30	0,50	0,42	0,04	0,40	5	0,75	1,50	1,23	0,14	1,20	11
	III ярус, Σ	27(17)	0,01	1,00	0,42	0,06	0,40	19	0,04	3,60	1,27	0,23	0,90	41

№ вида	Вид	ПП, доля						УБМ, кг/м ²						ЧВА, %
		N	Min	Max	M	SE	Med	N	Min	Max	M	SE	Med	
29	КИВ Д4	25(19)	0,05	0,80	0,36	0,04	0,40	25	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	54
30	<i>Ralfsia fungiformis</i>	1	0,20	0,20	0,20	—	0,20	1	0,07	0,07	0,07	—	0,07	2
	IV ярус, Σ	25(19)	0,05	0,80	0,37	0,04	0,40	25	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	54
	Σ	46	0,80	1,00	1,00	0,07	1,60	46	3,20	21,73	9,17	0,66	8,72	100

Примечание. С — субдоминант с номером своего яруса.

протяженностью от одного до десятков километров, а во внешних частях бухт — пятна площадью не менее сотен квадратных метров. Эта ассоциация в наибольшей степени определяет облик растительности мелководий открытых побережий южнее мыса Сюркум. В отдельные годы может образовывать поля площадью от нескольких до первых десятков квадратных километров на галечных равнинах, расположенных на глубинах от 8 до как минимум 20–22 м. Однако такие глубинные поселения образуются редко: они отмечались трижды за почти четверть века наблюдений, имеют весьма лабильные количественные характеристики и неустойчивы во времени и в пространстве. Высота растительного покрова до 2 м. Выявленная ЧВ — 9 %. Образована двухлетним ГД и преимущественно многолетними растениями. Имеет до 4 ярусов.

В ценофлоре ассоциации отмечено не менее 30 видов, в сборах — от 1 до 12, в среднем 6 видов. Помимо ГД, в качестве субдоминантов в отдельных фитоценозах выявлено 5 видов в I ярусе, в качестве доминантов нижних ярусов — 3 вида во II, 3 вида в III и группировки КИВ в IV ярусах. Монодоминантными были 43 % фитоценозов ассоциации. ГД на мелководьях формирует типичные куртины, включающие от нескольких до нескольких десятков слоевищ. Мелководные поселения легкодоступны для промыслового освоения. Ассоциация в целом, ГД и все субдоминанты I яруса хорошо опознаются, их ПП легко оценивается. Доминанты II яруса опознаваемы с ТНПА при высокой прозрачности и отсутствии волнения, оценки их ПП могут быть затруднены. Визуальная идентификация доминантов III яруса затруднена. Растительность IV яруса — КИВ легко обнаруживается, но идентификация отдельных видов невозможна за некоторыми исключениями, а оценки ПП яруса возможны только при отсутствии растительности II яруса.

Сообщества *Saccharina japonica* распространены в южных районах морей российского Дальнего Востока: ранее они выделены в южном [Скарлато и др., 1967] и северном [Паймеева, Гусарова, 1993] Приморье, у берегов юго-восточного [Голиков и др., 1985] и западного Сахалина [Петров, Поздеев, 1992] и у южных Курильских островов [Евсеева, 2007], т.е. в различных районах низкобореальной подзоны бореальной зоны.

Ассоциация *Saccharinetum cichorioidae* ass. nov. hoc loco, номенклатурный тип (holotypus hoc loco) приведен в табл. 5. Диагностический вид — *Saccharina cichorioides*. Количество описаний — 11. Ассоциация (рис. 4, табл. 6) региональная, распространена на всем северном участке района, т.е. от мыса Сюркум до входа в лиман Амура. Южнее мыса Сюркум замещается викарирующей асс. *Saccharinetum japonicae*. Как и последняя, формируется у открытых и полузащищенных побережий на скалистых, валунных, глыбовых и галечных грунтах при уклоне дна от незаметного до вертикального. Располагается на глубинах от 2 до 15 м. Глубинный тренд статистически незначим ($\alpha = -1,15 \pm 0,78$, $R^2 = 0,03$, $p = 0,15$). На мелководьях до 6 м образует пояса. Высота растительного покрова до 1,5 м. Выявленная ЧВ — 3 %. Образована преимущественно многолетними растениями. Имеет до 4 ярусов. В ценофлоре отмечено не менее 20 видов, в сборах — от 2 до 11, в среднем 5 видов. Помимо ГД, в качестве субдоминантов в отдельных фитоценозах обнаружено 3 вида в I ярусе, в качестве доминантов нижних ярусов 4 вида во II, 1 вид в III и группировки КИВ в IV ярусах. Монодоминантными были 42 % фитоценозов ассоциации. ГД обычно распределяется диффузно. Может быть целесообразно промысловое освоение ГД ассоциации

в качестве технического сырья. Возможности визуального опознания ассоциации и ее структурных элементов соответствуют таковым для *Saccharineta japonicae*.

Ранее сообщества *Saccharina cichorioides* были выделены в южном Приморье зал. Посыета [Скарлато и др., 1967; Перестенко, 1980]. Указано на доминирование этого вида в структуре растительности у сахалинских берегов Татарского пролива [Клочкова, 1996].

Таблица 5

Номенклатурный тип асс. *Saccharineta cichorioides*.
Фрагмент электронной таблицы с первичным описанием

Table 5

Nomenclature type of the association *Saccharineta cichorioides*.
The spreadsheet fragment with primary description

Дата	Участок	№ станции	Широта, град.	Долгота, град.	Глубина, м	Грунт	Макрофит	ПП, доля	УБМ, кг/м ²	Ярус
11.07.10	Бухта Аласутай	172	50,9022	140,53	2	Валуны	<i>Saccharina cichorioides</i>	0,6	3,84	I
12.07.10	То же	«	«	«	«	«	<i>Ptilota asplenioides</i>	0,2	2,40	II
13.07.10	«	«	«	«	«	«	КИВ	0,1	0	IV
14.07.10	«	«	«	«	«	«	<i>Ulva fenestrata</i>	0,3	0,40	II
15.07.10	«	«	«	«	«	«	<i>Phyllospadix iwatensis</i>	0,2	5,60	I
16.07.10	«	«	«	«	«	«	<i>Stephanocystis crassipes</i>	0,2	6,40	I

Таблица 6

Качественные и количественные характеристики асс. *Saccharineta cichorioides* у северо-западного побережья Японского моря

Table 6

Qualitative and quantitative characteristics of the association *Saccharineta cichorioides* at the northwestern coast of the Japan Sea

№ вида	Вид	ПП, доля						УБМ, кг/м ²						ЧВА, %
		N	Min	Max	M	SE	Med	N	Min	Max	M	SE	Med	
1	<i>Saccharina cichorioides</i> ГД	11	0,30	0,90	0,50	0,06	0,45	14	0,80	8,00	3,40	0,60	3,00	3,8
2	<i>Costaria costata</i> С1	3(3)	0,30	0,30	0,30	0	0,30	4	1,40	4,50	2,90	0,60	2,90	1,1
3	<i>Sargassum miyabei</i> С1	3(1)	0,05	0,30	0,18	0,07	0,20	3	0,20	4,40	2,20	1,20	2,00	0,8
4	<i>Alaria</i> sp. С1	1(1)	0,30	0,30	0,30	0	0,30	2	0,40	3,00	1,70	1,30	1,70	0,5
5	<i>Phyllospadix iwatensis</i>	4	0,05	0,20	0,14	0,04	0,15	4	1,00	5,60	2,60	1,00	1,80	1,1
6	<i>Stephanocystis crassipes</i>	2	0,10	0,20	0,15	0,05	0,15	2	1,20	6,40	3,80	2,60	3,80	0,5
7	<i>Sargassum pallidum</i>	1	0,20	0,20	0,20	–	0,20	2	1,60	3,20	2,40	0,80	2,40	0,5
8	<i>Desvarestia viridis</i>	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	1	0,40	0,40	0,40	–	0,40	0,3
	I ярус, Σ	12(12)	0,50	1,00	0,81	0,06	0,90	14	1,60	15,84	7,08	0,98	6,41	3,8
9	<i>Ulva fenestrata</i> Д2	3(1)	0,05	0,30	0,15	0,08	0,10	4	0,10	0,56	0,30	0,10	0,30	1,1
10	<i>Ptilota filicina</i> Д2	2(1)	0,10	0,50	0,29	0,19	0,29	2	0,50	0,88	0,70	0,20	0,70	0,5
11	<i>Tichocarpus crinitus</i> Д2	1(1)	0,40	0,40	0,40	–	0,40	2	0,45	1,88	1,20	0,70	1,20	0,5
12	<i>Neorhodomela larix</i> Д2	1	0,05	0,05	0,05	–	0,05	3	0,20	1,60	1,00	0,40	1,20	0,8
13	<i>Ptilota asplenioides</i>	1	0,20	0,20	0,20	–	0,20	2	0,80	2,40	1,60	0,80	1,60	0,5
14	<i>Laurencia nipponica</i>	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	2	0,20	0,68	0,40	0,20	0,40	0,5
15	<i>Neohyrophyllum middendorfi</i>	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	2	0,32	2,80	1,60	1,20	1,60	0,5
16	<i>Codium fragile</i>	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	1	0,12	0,12	0,12	–	0,12	0,3
17	<i>Mazaella parksii</i>	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	1	0,12	0,12	0,12	–	0,12	0,3
	II ярус, Σ	11(6)	0,05	0,95	0,35	0,09	0,40	12	0,40	5,32	1,92	0,39	1,85	3,2
18	<i>Bossiella compressa</i> Д3	1	0,30	0,30	0,30	–	0,30	1	0,90	2,70	1,80	0,90	1,80	0,5
	III ярус, Σ	1	0,30	0,30	0,30	–	0,30	1	0,90	2,70	1,80	0,90	1,80	0,5
19	КИВ	6(2)	0,10	0,70	0,23	0,10	0,10	6	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	1,6
	IV ярус, Σ	6(2)	0,10	0,70	0,25	0,10	0,15	6	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	1,6
	Σ	28	0,30	1,00	1,00	0,08	1,05	30	1,60	18,64	8,08	0,56	7,95	8,1

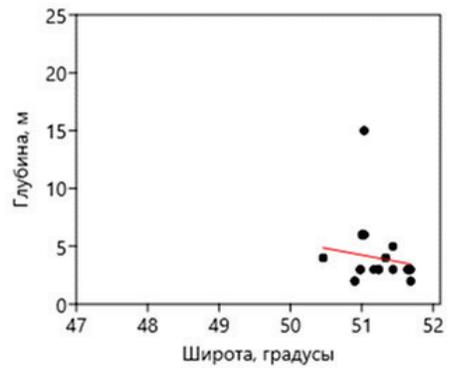


Рис. 4. Физиономический облик асс. *Saccharinetum cichorioidae* (слева) и ее распространение у северо-западного побережья Японского моря (справа)

Fig. 4. Physiognomic appearance of the association *Saccharinetum cichorioidae* (left panel) and its distribution at the northwestern coast of the Japan Sea (right panel)

Ассоциация *Kjellmaniellum crassifoliae* ass. nov. hoc loco, номенклатурный тип (holotypus hoc loco) приведен в табл. 7. Диагностический вид — *Kjellmaniella crassifolia*. Количество описаний — 5. Ассоциация (рис. 5, табл. 8) региональная, распространена на южном участке района, от мыса Ича до мыса Красный Партизан. Формируется у открытых побережий на скальных, глыбовых и валунных грунтах при уклоне дна от незаметного до слабонаклонного на обширных пологих галечных равнинах, обычно при удалении от берега не менее 500 м. Располагается на глубинах от 5 до 20 м. Глубинный тренд статистически значим ($\alpha = -13,70 \pm 3,37$, $R^2 = 0,35$, $p = 0,0003$). Ассоциация преимущественно (4 из 5 описаний) приурочена к глубинам от 8 до 20 м. Высота растительного покрова до 1 м. Выявленная ЧВ — 3 %. Образует поля либо пояса. Растения в пределах ассоциации, как правило, распределены диффузно, ГД может образовывать небольшие куртины из нескольких растений.

Таблица 7

Номенклатурный тип асс. *Kjellmaniellum crassifoliae*.
Фрагмент электронной таблицы с первичным описанием

Table 7

Nomenclature type of the association *Kjellmaniellum crassifoliae*.
The spreadsheet fragment with primary description

Дата	Участок	№ станции	Широта, град.	Долгота, град.	Глубина, м	Грунт	Макрофит	ПП, доля	УБМ, кг/м ²	Ярус
01.08.10	Бухта Иннокентия	556	48,6629	140,178	5	Скала	<i>Phyllospadix iwatensis</i>	0,05	0,20	I
«	То же	«	«	«	«	«	<i>Saccharina japonica</i>	0,05	0,50	I
«	«	«	«	«	«	«	<i>Odontalia corymbifera</i>		0,15	II
«	«	«	«	«	«	«	<i>Kjellmaniella crassifolia</i>	0,40	1,50	I
«	«	«	«	«	«	«	<i>Saccharina japonica</i>		0,70	I
«	«	«	«	«	«	«	<i>Neorhodomela larix</i>		0,50	II
«	«	«	«	«	«	«	<i>Corallina officinalis</i>	0,80	0	III
«	«	«	«	«	«	«	КИВ	0,10	0	IV

Образована преимущественно многолетними растениями. Имеет до 3 ярусов. В ценофлоре отмечено не менее 15 видов, в сборах находили 4–6, в среднем 5 видов. Помимо ГД, в качестве субдоминантов в отдельных фитоценозах отмечены 2 вида в I ярусе и по 2 доминанта во II, III и IV ярусах. Был выявлен единственный монодоминантный фитоценоз. Преобладание в данной ассоциации фитоценозов с наличием субдоминантов или доминантов нижних ярусов легко объяснимо: ассоциация формируется

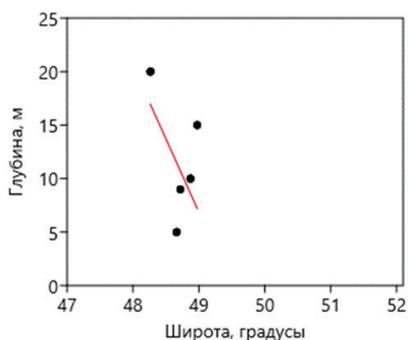


Рис. 5. Физиономический облик асс. *Kjellmaniellum crassifoliae* (слева) и ее распространение у северо-западного побережья Японского моря (справа)

Fig. 5. Physiognomic appearance of the association *Kjellmaniellum crassifoliae* (left panel) and its distribution at the northwestern coast of the Japan Sea (right panel)

Таблица 8

Качественные и количественные характеристики асс. *Kjellmaniellum crassifoliae* у северо-западного побережья Японского моря

Table 8

Qualitative and quantitative characteristics of the association *Kjellmaniellum crassifoliae* at the northwestern coast of the Japan Sea

№ вида	Вид	ПП, доля						УБМ, кг/м ²						ЧВА, %
		N	Min	Max	M	SE	Med	N	Min	Max	M	SE	Med	
1	<i>Kjellmaniella crassifolia</i> ГД	5	0,3	0,70	0,50	0,08	0,40	5	0,40	2,50	1,20	0,40	1,00	100
2	<i>Agarum clathratum</i> CI	3(1)	0,2	0,40	0,27	0,07	0,20	3	0,20	0,40	0,30	0,10	0,30	60
3	<i>Stephanocystis crassipes</i> CI	1(1)	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	1	4,00	4,00	4,00	–	4,00	20
4	<i>Saccharina japonica</i>	2	0	0,05	0,03	0,02	0	2	0,10	1,20	0,70	0,60	0,70	40
5	<i>Phyllospadix iwatensis</i>	1	0,1	0,05	0,05	0	0,10	1	0,20	0,20	0,20	–	0,20	20
	I ярус, Σ	5	0,3	0,91	0,68	0,12	0,80	5	0,50	5,30	2,46	0,87	2,80	100
6	<i>Odonthalia corymbifera</i>	1	0,1	0,10	0,10	–	0,10	3	0,01	0,20	0,10	0,10	0,20	60
7	<i>Chondrus pinnulatus</i>	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	1	0,01	0,01	0,01	–	0,01	20
8	<i>Neorhodomela larix</i>	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	1	0,50	0,50	0,50	–	0,50	20
9	<i>Odonthalia setacea</i>	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	1	0,001	0,001	0,001	–	0	20
10	<i>O. ochotensis</i>	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	1	0,05	0,05	0,05	–	0,05	20
	II ярус, Σ	3(0)	0,1	0,10	0,10	–	0,10	4	0,11	1,10	0,44	0,21	0,30	80
11	<i>Bossiella compressa</i> ДЗ	3(1)	0,1	0,40	0,22	0,10	0,20	3	0,15	1,20	0,70	0,30	0,60	60
12	<i>Corallina officinalis</i> ДЗ	1(1)	0,8	0,80	0,80	–	0,80	1	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	20
	III ярус, Σ	4(2)	0,1	0,80	0,36	0,16	0,30	3	0,15	1,20	0,65	0,30	0,60	60
13	КИВ Д4	4(1)	0	0,60	0,23	0,13	0,20	4	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	80
14	<i>Hildenbrandtia rubra</i> Д4	1(1)	0,4	0,40	0,40	–	0,40	1	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	20
15	<i>Ralfsia fungiformis</i>	1	0,1	0,10	0,10	–	0,10	1	0,05	0,05	0,05	–	0,05	20
	IV ярус, Σ	4(2)	0,1	0,60	0,35	0,14	0,36	1	0,05	0,05	0,05	–	0,05	20
	Σ	5	0,8	1,00	1,00	0,14	1,40	5	0,80	5,70	3,21	0,85	3,80	100

ниже глубин расположения ядра растительности [Дуленин, 2019], где конкуренция за субстрат ослаблена, что в большинстве случаев позволяет создавать значительные показатели обилия и другим видам, кроме ГД. Показатели обилия ГД по сравнению с большинством других ассоциаций крупных бурых водорослей довольно низки. ПП никогда не достигает максимальных значений (0,9–1,0), как в других ассоциациях с ГД верхнего яруса. Это объясняется относительно худшими условиями существования на больших глубинах. ГД и субдоминанты I яруса обычно распределяются диффузно, доминанты нижних ярусов могут формировать микрогруппировки. Из-за значительных глубин расположения растительность ассоциации малоперспективна для промысло-

вого освоения. Ассоциация, ГД и субдоминанты верхнего яруса легко опознаются и оцениваются количественно. Легко опознать III ярус, однако видовая идентификация его доминантов может быть затруднена. Доминант IV яруса однозначно опознается, однако оценка его III не всегда возможна. Помимо района исследований, фитоценозы ассоциации могут формироваться у восточного Сахалина [Бывалина и др., 1985].

Ассоциация *Costaretum costatae* ass. nov. hoc loco, номенклатурный тип (holotypus hoc loco) приведен в табл. 9. Диагностический вид — *Costaria costata*. Количество описаний — 3. Ассоциация (рис. 6, табл. 10) локальная, описана на севере района, от бухты Аласутай до мыса Сивучьего. Формируется у открытых и полузащищенных побережий на глыбовых и валунных грунтах при слабонаклонном уклоне дна. Отмечена на глубинах от 2 до 5 м. Несмотря на малое количество описаний, статистически значимый глубинный тренд ($\alpha = 10,66 \pm 0,67$, $R^2 = 0,93$, $p < 0,0001$) показывает приуроченность ассоциации к глубине 5 м. Высота растительного покрова до 1 м. Выявленная ЧВ — 1 %. ГД однолетний. В фитоценозах ассоциации формировалось до 3 ярусов растительности.

Таблица 9

Номенклатурный тип асс. *Costaretum costatae*.
Фрагмент электронной таблицы с первичным описанием

Table 9

Nomenclature type of the association *Costaretum costatae*.
The spreadsheet fragment with primary description

Дата	Участок	№ станции	Широта, град.	Долгота, град.	Глубина, м	Грунт	Макрофит	ПП, доля	УБМ ₂ , кг/м ²	Ярус
10.07.10	Мыс Сивучий	152	50,98	140,56	5	Глыбы	<i>Saccharina cichorioides</i>	0,30	3,00	I
«	«	«	«	«	«	«	<i>Ptilota asplenioides</i>	0,30	1,20	II
«	«	«	«	«	«	«	<i>Neohypophyllum middendorffii</i>		0,20	II
«	«	«	«	«	«	«	<i>Callophyllis rhynchocarpa</i>		0,12	II
«	«	«	«	«	«	«	КИВ	0,30		IV
«	«	«	«	«	«	«	<i>Ulva fenestrata</i>	0,05	0,05	II
«	«	«	«	«	«	«	<i>Costaria costata</i>	0,40	5,00	I
«	«	«	«	«	«	«	<i>Desmarestia viridis</i>	0,10	0,20	I

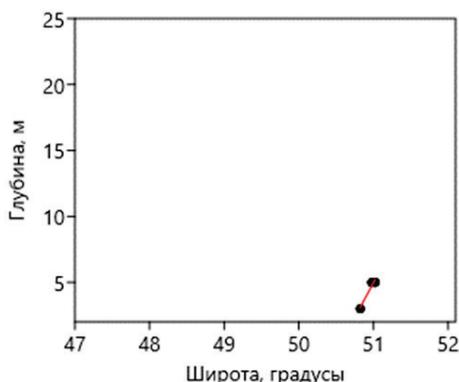


Рис. 6. Физиономический облик асс. *Costaretum costatae* (слева) и ее распространение у северо-западного побережья Японского моря (справа)

Fig. 6. Physiognomic appearance of the association *Costaretum costatae* (left panel) and its distribution at the northwestern coast of the Japan Sea (right panel)

В ценофлоре ассоциации отмечено не менее 12 видов, в сборах от 4 до 7, в среднем 5 видов. Помимо ГД, в качестве субдоминантов в отдельных фитоценозах выявлено 3 вида в I ярусе, в качестве доминантов нижних ярусов 1 вид — во II и КИВ — в IV. Из трех описанных фитоценозов ассоциации один (33 %) был монодоминантным.

ГД образует небольшие куртины. Малоперспективна для промыслового освоения. Возможности визуального опознавания ассоциации и ее структурных элементов соответствуют таковым для *Saccharinetum japonicae*. Ранее сообщества *Costaria costata* описаны в Приморье [Перестенко, 1980; Кашенко, 2002] и у берегов южного Сахалина [Голиков и др., 1985].

Таблица 10

Качественные и количественные характеристики асс. *Costaretum costatae* у северо-западного побережья Японского моря

Table 10

Qualitative and quantitative characteristics of the association *Costaretum costatae* at the northwestern coast of the Japan Sea

№ вида	Вид	ПП, доля						УБМ, кг/м ²						ЧВА, %
		N	Min	Max	M	SE	Med	N	Min	Max	M	SE	Med	
1	<i>Costaria costata</i> ГД	3	0,40	0,40	0,40	–	0,40	3	4,0	5,00	4,5	0,30	4,50	100
2	<i>Phyllospadix iwatensis</i> CI	1(1)	0,40	0,40	0,40	–	0,40	1	1,2	1,20	1,2	0	1,20	33
3	<i>Saccharina cichorioides</i> CI	2(2)	0,30	0,30	0,30	–	0,30	2	1,5	3,00	2,3	0,80	2,30	67
4	<i>Stephanocystis crassipes</i> CI	1(1)	0,30	0,30	0,30	–	0,30	1	2,0	2,00	2,0	–	2,00	33
5	<i>Desmarestia viridis</i>	2	0,10	0,10	0,10	–	0,10	2	0,1	0,20	0,2	0,10	0,20	67
	I ярус, Σ	3(1)	0,80	1,00	0,90	0,06	0,90	3	5,3	8,20	7,2	0,94	8,00	100
6	<i>Pilota asplenioides</i> Д2	1(1)	0,30	0,30	0,30	–	0,30	1	1,2	1,20	1,2	0	1,20	33
7	<i>Ulva fenestrata</i>	2	0,05	0,10	0,08	0,03	0,08	2	0,1	0,60	0,3	0,30	0,30	67
8	<i>Mazaella parksii</i>	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	1	0,4	0,40	0,4	–	0,40	33
9	<i>Neohypophyllum middendorffii</i>	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	1	0,2	0,20	0,2	–	0,20	33
10	<i>Neorhodomela larix</i>	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	1	1,6	1,60	1,6	–	1,60	33
11	<i>Callophyllis rhynchocarpa</i>	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	1	0,1	0,10	0,1	–	0,10	33
	II ярус, Σ	3(1)	0,10	0,45	0,2167	0,12	0,10	3	0,4	2,56	1,6	0,64	1,97	100
12	КИВ Д4	1(1)	0,30	0,30	0,30	–	0,30	1	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	33
	IV ярус, Σ	1(1)	0,30	0,30	0,30	–	0,30	1	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	33
	Σ	3	1,00	1,00	1,00	0,17	1,10	3	7,9	10,20	8,8	0,70	8,40	100

Ассоциация Agaretum clathratae ass. nov. hoc loco, номенклатурный тип (holotypus hoc loco) приведен в табл. 11. Диагностический вид — *Agarum clathratum*. Количество описаний — 55. Ассоциация (рис. 7, табл. 12) региональная, распространена по всему району исследований. Формируется у открытых и полузащищенных побережий на скальных, глыбовых, валунных и галечных грунтах при уклоне дна от незаметного до крутого. Отмечена на глубинах от 4 до 22 м. Глубинный тренд статистически значим

Таблица 11

Номенклатурный тип асс. *Agaretum clathratae*.

Фрагмент электронной таблицы с первичным описанием

Table 11

Nomenclature type of the association *Agaretum clathratae*.

The spreadsheet fragment with primary description

Дата	Участок	№ станции	Ширина, град.	Долгота, град.	Глубина, м	Грунт	Макрофит	ПП, доля	УБМ, кг/м ²	Ярус
18.07.10	Мыс Юма	349	49,48	140,51	10	Скала	<i>Saccharina japonica</i>	0,20	6,00	I
«	«	«	«	«	«	«	<i>Stephanocystis crassipes</i>	0,30	0,80	I
«	«	«	«	«	«	«	<i>Agarum clathratum</i>	0,40	1,50	I
«	«	«	«	«	«	«	<i>Ulva fenestrata</i>	0,01	0,01	II
«	«	«	«	«	«	«	<i>Neorhodomela larix</i>	0,01	0,04	II
«	«	«	«	«	«	«	<i>Odonthalia corymbifera</i>	0,01	0,01	II
«	«	«	«	«	«	«	КИВ	0,60	0	IV
«	«	«	«	«	«	«	<i>Bossiella compressa</i>	0,20	0,60	III

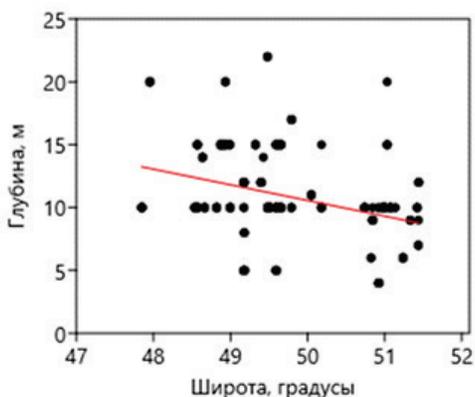


Рис. 7. Физиономический облик асс. *Agaretum clathratae* (слева) и ее распространение у северо-западного побережья Японского моря (справа)

Fig. 7. Physiognomic appearance of the association *Agaretum clathratae* (left panel) and its distribution at the northwestern coast of the Japan Sea (right panel)

Таблица 12

Качественные и количественные характеристики асс. *Agaretum clathratae* у северо-западного побережья Японского моря

Table 12

Qualitative and quantitative characteristics of the association *Agaretum clathratae* at the northwestern coast of the Japan Sea

№ вида	Вид	ПП, доля						УБМ, кг/м ²						ЧВА, %
		N	Min	Max	M	SE	Med	N	Min	Max	M	SE	Med	
1	<i>Agarum clathratum</i> ГД	55	0,30	1,00	0,50	0,02	0,50	55	0,20	5,00	1,69	0,15	1,50	100
2	<i>Stephanocystis crassipes</i> С1	16(6)	0,01	0,50	0,23	0,03	0,20	19	0,05	8,00	1,77	0,42	1,20	34
3	<i>Kjellmaniella crassifolia</i> С1	4(1)	0,03	0,40	0,18	0,08	0,15	5	0,10	1,00	0,56	0,20	0,60	9
4	<i>Saccharina japonica</i>	11	0,01	0,20	0,09	0,02	0,05	11	0,10	9,30	2,12	0,88	0,80	20
5	<i>Phyllospadix iwataensis</i>	6	0,01	0,10	0,05	0,01	0,05	6	0,20	2,00	0,93	0,30	0,80	11
6	<i>Sargassum miyabei</i>	4	0,01	0,10	0,05	0,02	0,05	7	0,20	3,20	1,22	0,45	1,00	13
7	<i>Desmarestia viridis</i>	4	0,01	0,10	0,05	0,02	0,04	5	0,02	0,30	0,12	0,05	0,10	9
8	<i>Costaria costata</i>	3	0,02	0,05	0,04	0,01	0,05	3	0,03	0,10	0,06	0,02	0,05	5
9	<i>Saccharina cichorioides</i>	2	0,01	0,10	0,06	0,05	0,055	4	0,20	4,40	1,35	1,02	0,40	7
10	<i>Sargassum pallidum</i>	1	0,10	0,10	0,10	—	0,10	2	1,80	5,00	3,40	1,60	3,40	4
	I ярус, Σ	55	0,30	1,00	0,62	0,03	0,60	55	0,20	12,40	3,22	0,37	2,13	100
11	<i>Neorhodomela larix</i> Д2	9(1)	0,01	0,30	0,12	0,03	0,10	12	0,03	1,20	0,36	0,11	0,30	22
12	<i>Odonthalia corymbifera</i>	4	0,01	0,10	0,05	0,02	0,05	11	0,01	0,40	0,15	0,04	0,10	20
13	<i>Ulva fenestrata</i>	2	0,01	0,01	0,01	—	0,01	2	0,01	0,01	0,01	—	0,01	4
14	<i>Codium fragile</i>	1	0,10	0,10	0,10	—	0,10	1	0,50	0,50	0,50	—	0,50	2
15	<i>Congregatocarpus kurilensis</i>	1	0,05	0,05	0,05	—	0,05	1	0,12	0,12	0,12	—	0,12	2
16	<i>Odonthalia setacea</i>	1	0,03	0,03	0,03	—	0,03	2	0,03	0,20	0,12	0,09	0,115	4
17	<i>Tichocarpus crinitus</i>	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	2	0,20	0,40	0,30	0,10	0,30	4
18	<i>Neohypophyllum middendorfi</i>	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	1	0,30	0,30	0,30	—	0,30	2
19	<i>Odonthalia ochotensis</i>	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	1	2,00	2,00	2,00	—	2,00	2
20	<i>Ptilota asplenioides</i>	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	1	0,08	0,08	0,08	—	0,08	2
	II ярус, Σ	34(2)	0,01	0,30	0,11	0,01	0,10	34	0,04	2,40	0,52	0,08	0,40	62
21	<i>Bossiella compressa</i>	34(23)	0,01	1,00	0,36	0,04	0,30	34	0,03	3,00	1,10	0,12	0,90	62
22	<i>Corallina officinalis</i> Д3	7(3)	0,01	1,00	0,32	0,13	0,10	7	0,04	2,00	0,81	0,30	0,40	13
	III ярус, Σ	41(26)	0,01	1,00	0,35	0,04	0,30	41	0,03	3,00	1,05	0,11	0,90	75
23	КИБ	36(16)	0,05	0,90	0,28	0,04	0,20	36	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	65
24	<i>Hildenbrandtia rubra</i> Д4	2(1)	0,20	0,30	0,25	0,05	0,25	2	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	4
	IV ярус, Σ	38(16)	0,05	0,90	0,28	0,04	0,20	38	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	69
	Σ	55	0,30	1,00	1,00	0,06	1,10	55	1,10	14,00	4,35	0,40	3,40	100

($\alpha = -1,25 \pm 0,23$, $R^2 = 0,1$, $p < 0,0001$) и показывает смещение ассоциации к большим глубинам на севере района. Высота растительного покрова до 0,7 м. Выявленная ЧВ — 11 %. Растительность представлена преимущественно многолетними видами. Имеет до 4 ярусов. В ценофлоре отмечено не менее 24 видов, в сборах от 1 до 10, в среднем 5 видов. Помимо ГД, в качестве субдоминантов в отдельных фитоценозах указаны 2 вида в I ярусе, в качестве доминантов нижних ярусов — 1 вид во II, 2 вида — в III и КИВ — в IV. Монодоминантными были 36 % описанных фитоценозов ассоциации. Образует пояса и поля шириной от нескольких до нескольких сотен метров. Растительность верхнего яруса распределяется диффузно, растительность нижних ярусов — диффузно либо образует микрогруппировки. Фитоценозы ассоциации чаще всего формируются на глубинах не менее 10 м, простираясь до нижних границ растительного покрова. Возможности визуального опознавания ассоциации и ее структурных элементов соответствуют таковым для *Saccharinetum japonicae*.

Ранее сообщества с доминированием *A. clathratum* выделены у западных [Петров, Поздеев, 1992] и восточных берегов Сахалина [Перестенко, 1996], у восточной Камчатки, Командорских островов [Селиванова, 2004], у берингоморских берегов Чукотки [Толстикова, 1980] и Курильских островов [Евсеева, 2007]. Весьма вероятно нахождение фитоценозов ассоциации у берегов северного Приморья.

Ассоциация *Desmarestetum viridae* ass. nov. hoc loco, номенклатурный тип (holotypus hoc loco) приведен в табл. 13. Диагностический вид — *Desmarestia viridis*. Количество описаний — 6. Ассоциация (табл. 14, рис. 8) региональная, ее фитоценозы отмечаются вдоль большей части района исследований — от бухты Иннокентия на юге до бухты Аласутай на севере. Формируется у открытых и полузащищенных побережий на скальных, глыбовых, валунных и галечных грунтах при уклоне дна от незаметного до слабонаклонного. Отмечена на глубинах от 3 до 10 м. Фитоценозы ассоциации распределяются по глубине относительно равномерно ($\alpha = 0,27 \pm 0,53$, $R^2 = 0,12$, $p = 0,61$). Высота растительного покрова — до 0,5 м. Выявленная ЧВ — 1 %. ГД многолетний, прочая растительность представлена однолетними и многолетними видами. Выражено до 3 ярусов.

Таблица 13

Номенклатурный тип асс. *Desmarestetum viridae*.
Фрагмент электронной таблицы с первичным описанием

Table 13

Nomenclature type of the association *Desmarestetum viridae*.
The spreadsheet fragment with primary description

Дата	Участок	№ станции	Ширина, град.	Долгота, град.	Глубина, м	Грунт	Макрофит	ПП, доля	УБМ, кг/м ²	Ярус
01.08.10	Бухта Иннокентия	558	48,71	140,18	5	Глыбы	<i>Stephanocystis crassipes</i>	0,1	0,1	I
«	«	«	«	«	«	«	<i>Desmarestia viridis</i>	0,6	1,5	I
«	«	«	«	«	«	«	<i>Saccharina japonica</i>	0,1	0,4	I
«	«	«	«	«	«	«	<i>Bossiella compressa</i>	0,1	0,3	III

Ценофлора насчитывает не менее 14 видов, в сборах — от 1 до 5, в среднем 3 вида. Помимо ГД, в качестве доминантов нижних ярусов отмечен 1 вид — во II, 2 вида — в III и КИВ — в IV ярусах. Монодоминантными были 50 % описанных фитоценозов ассоциации. Образует небольшие поля. Растительность верхнего яруса распределяется диффузно, растительность нижних ярусов может иметь диффузный характер распределения либо образует микрогруппировки. Фитоценозы ассоциации неперспективны для промыслового освоения. Возможности визуального опознавания ассоциации и ее структурных элементов соответствуют таковым для *Saccharinetum japonicae*.

Сообщества *Desmarestia viridis* описаны у берегов западного Сахалина [Петров, Поздеев, 1992], южного [Скарлато и др., 1967] и северного Приморья [Гусарова, 2010] и

у южных Курильских островов [Евсеева, 2007]. Из этого следует полагать, что они распространены в дальневосточных морях России в пределах низкорбореальной подзоны.

Таблица 14

Качественные и количественные характеристики асс. *Desmarestetum viridae* у северо-западного побережья Японского моря

Table 14

Qualitative and quantitative characteristics of the association *Desmarestetum viridae* at the northwestern coast of the Japan Sea

№ вида	Вид	ПП, доля						УБМ, кг/м ²						ЧВА, %
		N	Min	Max	M	SE	Med	N	Min	Max	M	SE	Med	
1	<i>Desmarestia viridis</i> ГД	6	0,50	1,0	0,78	0,09	0,80	6	1,2	3,6	2,35	0,42	2,3	100
2	<i>Stephanocystis crassipes</i>	2	0,05	0,1	0,08	0,03	0,08	2	0,1	0,1	0,10	—	0,1	33
3	<i>Phyllospadix iwataensis</i>	1	0,20	0,2	0,20	—	0,20	1	4,8	4,8	4,80	—	4,8	17
4	<i>Saccharina japonica</i>	1	0,10	0,1	0,10	—	0,10	1	0,4	0,4	0,40	—	0,4	17
5	<i>Sargassum pallidum</i>	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	1	0,8	0,8	0,80	—	0,8	17
	I ярус, Σ	6	0,50	1,0	0,86	0,08	0,93	6	1,6	6,9	3,38	0,77	3,1	100
6	<i>Ulva fenestrata</i> Д2	1(1)	1,00	1,0	1,00	—	1,0	1	1,5	1,5	1,50	—	1,5	17
7	<i>Laurencia nipponica</i>	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	1	0,4	0,4	0,40	—	0,4	17
8	<i>Odonthalia corymbifera</i>	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	1	0,2	0,2	0,20	—	0,2	17
9	<i>Ptilota filicina</i>	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	1	0,7	0,7	0,70	—	0,7	17
10	<i>Tichocarpus crinitus</i>	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	1	0,2	0,2	0,20	—	0,2	17
	II ярус, Σ	3(1)	0,10	1,0	0,60	0,26	0,70	4	0,4	2,8	1,55	0,49	1,5	67
11	<i>Corallina officinalis</i> Д3	2(1)	0,10	0,7	0,40	0,30	0,40	2	0	2,8	1,40	1,40	1,4	33
12	<i>C. pilulifera</i> Д3	1(1)	0,30	0,3	0,30	—	0,30	1	0,9	0,9	0,90	—	0,9	17
13	<i>Bossiella compressa</i>	1	0,10	0,1	0,10	—	0,10	1	0,3	0,3	0,30	—	0,3	17
	III ярус, Σ	3(1)	0,10	0,3	0,17	0,07	0,10	2	0,3	0,9	0,60	0,30	0,6	33
14	КИВ Д4	3(1)	0,10	0,7	0,33	0,19	0,20	3	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	50
	IV ярус, Σ	3(1)	0,10	0,7	0,33	0,19	0,20	3	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	50
	Σ	6	1,00	1,0	1,00	0,18	1,33	6	2,7	9,3	4,62	0,99	4,0	100

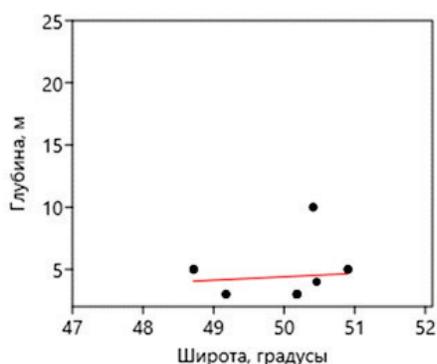


Рис. 8. Физиономический облик асс. *Desmarestetum viridae* (слева) и ее распространение у северо-западного побережья Японского моря (справа)

Fig. 8. Physiognomic appearance of the association *Desmarestetum viridae* (left panel) and its distribution at the northwestern coast of the Japan Sea (right panel)

Ассоциация *Sargassetum pallidae* ass. nov. hoc loco, номенклатурный тип (holotypus hoc loco) приведен в табл. 15. Диагностический вид — *Sargassum pallidum*. Количество описаний — 20.

Ассоциация (табл. 16, рис. 9) региональная, распространена в районе исследований почти повсеместно — от бухты Нельма на юге до зал. Чихачева на севере, преимущественно у открытых побережий. Формируется на валунных и глыбовых

грунтах при уклоне от незаметного до слабонаклонного на глубинах от 3 до 10 м. Ее фитоценозы распределяются по глубине относительно равномерно ($\alpha = 0,17 \pm 0,10$, $R^2 = 0,03$, $p = 0,09$). Они образуют пояса шириной от 100 до 200 м либо вдоль берегов бухт пятна площадью 50–100 м². Высота растительного покрова до 3 м. Выявленная ЧВ — 4 %. Ассоциация образована преимущественно многолетними растениями. Имеет до 4 ярусов. В ценофлоре ассоциации отмечено не менее 25 видов, в сборах на конкретных фитоценозах находили от 1 до 7, в среднем 4 вида. Кроме ГД, в качестве субдоминантов в отдельных фитоценозах указаны 5 видов в I ярусе, 1 вид — во II, 2 вида — в III и группировки КИВ — в IV ярусах. Монодоминантными были 45 % фитоценозов ассоциации. Она формирует легкодоступные для промыслового освоения поселения. Опознание ассоциации не составляет труда. Из-за неразвитости II яруса, с борта ТНПА легко просматривается растительность III и IV ярусов, однако их доминанты не могут быть определены до вида.

Таблица 15

Номенклатурный тип асс. *Sargassetum pallidae*.
Фрагмент электронной таблицы с первичным описанием

Table 15

Nomenclature type of the association *Sargassetum pallidae*.
The spreadsheet fragment with primary description

Дата	Участок	№ станции	Широта, град.	Долгота, град.	Глубина, м	Грунт	Макрофит	ПП, доля	УБМ, кг/м ²	Ярус
09.07.10	Бухта Крестовая	140	51,07	140,68	3	Глыбы	<i>Corallina officinalis</i>	0,50		III
«	«	«	«	«	«	«	КИВ	0,30		IV
«	«	«	«	«	«	«	<i>Saccharina cichorioides</i>	0,05	0,002	I
«	«	«	«	«	«	«	<i>Costaria costata</i>		0,001	I
«	«	«	«	«	«	«	<i>Stephanocystis crassipes</i>		3,600	I
«	«	«	«	«	«	«	<i>Agarum clathratum</i>		0,001	I
«	«	«	«	«	«	«	<i>Sargassum pallidum</i>	0,80	5,200	I

Таблица 16

Качественные и количественные характеристики асс. *Sargassetum pallidae*
у северо-западного побережья Японского моря

Table 16

Qualitative and quantitative characteristics of the association *Sargassetum pallidae*
at the northwestern coast of the Japan Sea

№ вида	Вид	ПП, доля						УБМ, кг/м ²						ЧВА, %
		N	Min	Max	M	SE	Med	N	Min	Max	M	SE	Med	
1	<i>Sargassum pallidum</i> ГД	20	0,30	0,90	0,57	0,04	0,58	20	0,50	12,0	5,21	0,83	4,00	100
2	<i>Agarum clathratum</i> CI	6(2)	0,10	0,50	0,22	0,07	0,15	1	0,04	4,40	1,56	0,73	1,30	40
3	<i>Phyllospadix iwatensis</i> CI	5(3)	0,10	0,30	0,24	0,06	0,30	5	0,30	4,80	1,72	0,80	1,00	25
4	<i>Stephanocystis crassipes</i> CI	2(1)	0,05	0,30	0,18	0,13	0,18	3	0,10	3,60	1,33	1,13	0,30	15
5	<i>Chorda asiatica</i> CI	1	0,20	0,20	0,20	—	0,20	2	0,03	4,00	2,02	2,00	2,00	10
6	<i>Sargassum miyabei</i> CI	1(1)	0,30	0,30	0,30	—	0,30	2	4,00	4,80	4,40	0,40	4,40	10
7	<i>Saccharina japonica</i>	2	0,05	0,20	0,13	0,08	0,13	2	0,16	1,50	0,83	0,67	0,83	10
8	<i>Saccharina cichorioides</i>	2	0,05	0,05	0,05	—	0,05	4	0,10	0,30	0,18	0,06	0,20	20
9	<i>Desmarestia viridis</i>	1	0,10	0,10	0,10	—	0,10	2	0,10	1,00	0,55	0,45	0,55	10
10	<i>Costaria costata</i>	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	2	0,001	0,60	0,30	0,30	0,30	10
	I ярус, Σ	20	0,40	1,00	0,81	0,05	0,80	20	0,80	19,60	7,58	1,12	5,75	100
11	<i>Codium fragile</i> Д2	1(1)	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	1	3,90	3,90	3,90	0	3,90	5
12	<i>Odonthalia setacea</i>	1	0,20	0,20	0,20	—	0,20	1	0,20	0,20	0,20	0	0,20	5
13	<i>Neorhodomela larix</i>	1	0,10	0,10	0,10	—	0,10	5	0,02	0,20	0,09	0,03	0,08	25
14	<i>Odonthalia corymbifera</i>	1	0,10	0,10	0,10	—	0,10	3	0,05	0,30	0,15	0,08	0,10	15
15	<i>Tichocarpus crinitus</i>	1	0,10	0,10	0,10	—	0,10	4	0,20	5,60	1,95	1,25	1,00	20

№ вида	Вид	ПП, доля						УБМ, кг/м ²						ЧВА, %
		N	Min	Max	M	SE	Med	N	Min	Max	M	SE	Med	
16	<i>Ulva fenestrata</i>	1	0,10	0,10	0,10	—	0,10	1	0,20	0,20	0,20	—	0,20	5
17	<i>Analipus japonicus</i>	1	0,05	0,05	0,05	—	0,05	1	0,08	0,08	0,08	—	0,08	5
18	<i>Ptilota asplenioides</i>	1	0,05	0,05	0,05	—	0,05	3	0,05	0,20	0,10	0,05	0,06	15
19	<i>Neohypophyllum middendorffii</i>	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	3	0,03	0,20	0,14	0,06	0,20	15
	II ярус, Σ	15(3)	0,01	0,50	0,14	0,04	0,10	15	0,04	6,40	1,22	0,47	0,38	75
20	<i>Corallina pilulifera</i> ДЗ	1(1)	0,50	0,50	0,50	—	0,50	1	1,50	1,50	1,50	0	1,50	5
21	<i>Corallina officinalis</i> ДЗ	5(4)	0,20	0,80	0,48	0,10	0,50	4	2,80	2,80	2,80	0	2,80	20
	III ярус, Σ	5(3)	0,20	1,00	0,58	0,14	0,50	3	0,04	2,80	1,45	0,80	1,50	15
22	КИВ Д4	9(7)	0,10	0,60	0,33	0,06	0,30	9	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	45
23	<i>Hildenbrandtia rubra</i>	2	0,10	0,10	0,10	—	0,10	2	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	10
	IV ярус, Σ	9(7)	0,10	0,60	0,36	0,06	0,40	9	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	45
	Σ	20	0,30	1,00	1,00	0,11	1,05	20	1,20	19,80	8,72	1,10	8,63	100

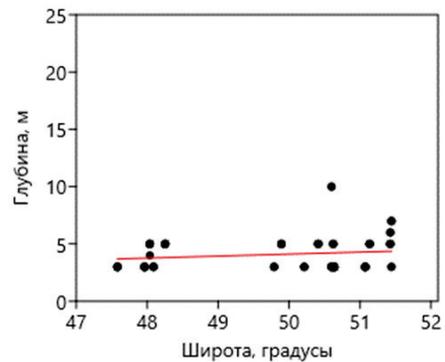
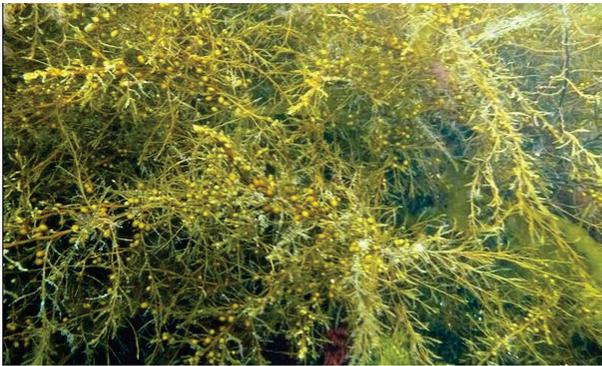


Рис. 9. Физиономический облик асс. *Sargassum pallidum* (слева) и ее распространение у северо-западного побережья Японского моря (справа)

Fig. 9. Physiognomic appearance of the association *Sargassum pallidum* (left panel) and its distribution at the northwestern coast of the Japan Sea (right panel)

Сообщества *Sargassum pallidum* описаны в Японском море в зал. Петра Великого [Скарлато и др., 1967; Перестенко, 1980] и у берегов западного Сахалина [Петров, Поздеев, 1992].

Ассоциация *Sargassum miyabae* ass. nov. hoc loco, номенклатурный тип (holotypus hoc loco) приведен в табл. 17. Диагностический вид — *Sargassum miyabei*. Количество описаний — 15. Ассоциация (рис. 10, табл. 18) региональная, распространена в СЗЯМ от мыса Ича на юге до зал. Чихачева на севере у открытых и полузащищенных побережий на скалистых, валунных, глыбовых и галечных грунтах при уклоне от незаметного до слабонаклонного. Располагается на глубинах от 2 до 7 м относительно равномерно ($\alpha = 0,15 \pm 0,31$, $R^2 = 0,004$, $p = 0,63$). Высота растительного покрова — до 3 м. Выявленная ЧВ — 3%. Образована преимущественно многолетними растениями. Имеет до 4 ярусов.

В ценофлоре отмечено не менее 19 видов, в сборах — от 1 до 12, в среднем 6 видов. Помимо ГД, в качестве субдоминантов в отдельных фитоценозах указаны 6 видов в I ярусе, в качестве доминантов и субдоминантов нижних ярусов 4 вида — во II, 1 вид — в III и группировки КИВ — в IV ярусах. Монодоминантными были 60% фитоценозов ассоциации. Часть формируемых ею поселений легкодоступны для промыслового освоения. Как и предыдущая, ассоциация *Sargassum miyabae* может быть надежно опознана с борта ТНПА. Возможности опознания доминантов нижних ярусов совпадают с таковыми для ассоциаций ламинариевых водорослей. Сообщества *Sargassum*

miyabei описаны для зал. Посьета [Скарлато и др., 1967] и для зал. Петра Великого в целом [Перестенко, 1980].

Таблица 17

Номенклатурный тип асс. *Sargassetum miyabeae*.
Фрагмент электронной таблицы с первичным описанием

Table 17

Nomenclature type of the association *Sargassetum miyabeae*.
The spreadsheet fragment with primary description

Дата	Участок	№ станции	Ширина, град.	Долгота, град.	Глубина, м	Грунт	Макрофит	ПП, доля	УБМ, кг/м ²	Ярус
02.08.10	О-ва Дугу-Ду	2	51,25	140,68	3	Валуны	<i>Bossiella compressa</i>	0,1	0,50	III
«	«	«	«	«	«	«	<i>Ahnfeltia plicata</i>		0,04	II
«	«	«	«	«	«	«	<i>Devaleraea stenogona</i>		0,04	II
«	«	«	«	«	«	«	<i>Ptilota filicina</i>	0,8	2,40	II
«	«	«	«	«	«	«	<i>Saccharina cichorioides</i>	0,1	0,40	I
«	«	«	«	«	«	«	<i>Sargassum miyabei</i>	0,7	7,00	I
«	«	«	«	«	«	«	<i>Ulva fenestrata</i>		0,12	II
«	«	«	«	«	«	«	<i>Tichocarpus crinitus</i>		0,12	II

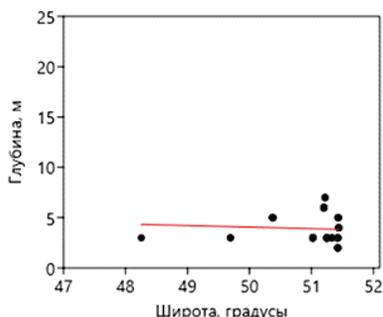


Рис. 10. Физиономический облик асс. *Sargassetum miyabeae* (слева) и ее распространение у северо-западного побережья Японского моря (справа)

Fig. 10. Physiognomic appearance of the association *Sargassetum miyabeae* (left panel) and its distribution at the northwestern coast of the Japan Sea (right panel)

Таблица 18

Качественные и количественные характеристики асс. *Sargassetum miyabeae*
у северо-западного побережья Японского моря

Table 18

Qualitative and quantitative characteristics of the association *Sargassetum miyabeae*
at the northwestern coast of the Japan Sea

№ вида	Вид	ПП, доля						УБМ, кг/м ²						ЧВА, %
		N	Min	Max	M	SE	Med	N	Min	Max	M	SE	Med	
1	<i>Sargassum miyabei</i> ГД	15	0,30	1,0	0,62	0,06	0,65	15	1,60	22,00	7,09	1,65	4,00	100
2	<i>Saccharina cichorioides</i> CI	9(2)	0,02	0,4	0,14	0,05	0,10	9	0,12	6,40	2,05	0,74	1,00	60
3	<i>Agarum clathratum</i> CI	2(2)	0,30	0,3	0,30	–	0,30	2	0,80	2,40	1,60	0,80	1,60	13
4	<i>Stephanocystis crassipes</i> CI	1(1)	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	1	4,00	4,00	4,00	–	4,00	7
5	<i>Desmarestia viridis</i> CI	1(1)	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	1	3,60	3,60	3,60	–	3,60	7
6	<i>Costaria costata</i> CI	1(1)	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	1	2,80	2,80	2,80	–	2,80	7
7	<i>Phyllospadix iwatensis</i> CI	3(1)	0,10	0,3	0,20	0,06	0,20	3	2,50	4,00	3,17	0,44	3,00	20
	I ярус, Σ	14	0,50	1,0	0,77	0,04	0,75	15	1,60	26,0	9,87	1,83	8,00	100
8	<i>Tichocarpus crinitus</i> Д2	4(1)	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	4	0,12	3,00	0,91	0,70	0,26	27
9	<i>Ptilota asplenioides</i> Д2	3(2)	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	3	0,16	3,60	1,79	1,00	1,60	20
10	<i>P. filicina</i> Д2	2(2)	0,60	0,8	0,70	0,10	0,70	2	2,40	3,20	2,80	0,40	2,80	13
11	<i>Codium fragile</i> C2	1(1)	0,40	0,4	0,40	–	0,40	1	4,50	4,50	4,50	–	4,50	7
12	<i>Ulva fenestrata</i>	1	0,10	0,1	0,10	–	0,10	3	0,08	0,12	0,11	0,01	0,12	20

№ вида	Вид	ПП, доля						УБМ, кг/м ²						ЧВА, %
		N	Min	Max	M	SE	Med	N	Min	Max	M	SE	Med	
13	<i>Ahnfeltia plicata</i>	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	2	0,04	0,08	0,06	0,02	0,06	13
14	<i>Analipus japonicus</i>	1	0,10	0,1	0,10	—	0,10	1	0,05	0,05	0,05	—	0,05	7
15	<i>Corallina officinalis</i>	1	0,05	0,1	0,05	—	0,05	1	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	7
16	<i>Neorhodomela larix</i>	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	1	0,20	0,20	0,20	—	0,20	7
17	<i>Devaleraea stenogona</i>	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	1	0,04	0,04	0,04	—	0,04	7
	II ярус, Σ	10(5)	0,01	0,8	0,31	0,12	0,10	10	0,04	8,70	2,03	0,92	0,24	67
18	<i>Bossiella compressa</i> ДЗ	4(3)	0,10	1,0	0,60	0,23	0,65	4	0,50	3,00	1,85	0,67	1,95	27
	III ярус, Σ	4(3)	0,10	1,0	0,60	0,23	0,65	4	0,50	3,00	1,85	0,67	1,95	27
19	КИВ	2(1)	0,20	0,6	0,40	0,20	0,40	2	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	13
	IV ярус, Σ	2(1)	0,20	0,6	0,40	0,20	0,40	2	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	13
	Σ	14	0,50	1,0	1,00	0,11	1,13	15	1,60	26,00	11,72	1,94	8,42	100

Ассоциация *Stephanocystetum crassipae* ass. nov. hoc loco, номенклатурный тип (holotypus hoc loco) приведен в табл. 19. Диагностический вид — *Stephanocystis crassipes*. Количество описаний — 17. Ассоциация (рис. 11, табл. 20) региональная, распространена практически по всему району исследований на участках от мыса Крестовоздвиженского на юге до зал. Чихачева на севере как у открытых побережий, так и в полузащищенных местообитаниях (в бухтах Ситуан, Труженик, Фальшивая, Токи и др., в заливах Советская Гавань, Накатова, Чихачева). Формируется на глубинах от 2 до 10 м. К северу глубины ее распространения несколько уменьшаются ($\alpha = -0,52 \pm 0,16$, $R^2 = 0,1$, $p = 0,002$). Распространена на скалистых, глыбовых, валунных, галечных грунтах при уклоне от незаметного до слабонаклонного. Образует пояса шириной от 100 до 200 м либо пятна площадью 50–100 м² вдоль берегов бухт. Высота растительного покрова до 3 м. Выявленная ЧВ — 3 %. Образована преимущественно многолетними растениями. Имеет до 4 ярусов.

Ценофлора ассоциации насчитывает не менее 22 видов, однако в отдельных описаниях отмечено лишь от 1 до 8, в среднем 4 вида. Помимо ГД, в качестве субдоминантов в отдельных фитоценозах отмечены 4 вида в I ярусе, по 2 вида — во II и III и группировки КИВ — в IV. При этом 40 % фитоценозов монодоминантны. Такие монодоминантные заросли часто располагаются в кутовых частях полузащищенных бухт, они постепенно редуют по направлению к устьям рек. Во внешних частях бухт растительность ассоциации перемежается с поясами и пятнами ассоциации *Phyllospadictetum iwatensis*. Ассоциация *Stephanocystetum crassipae* формирует легкодоступные для промыслового освоения поселения. Возможности опознания и описания фитоценозов ассоциации с борта ТНПА совпадают с таковыми для остальных ассоциаций саргассовых водорослей. Ранее сообщества с доминированием *Stephanocystis crassipes* выделены у берегов западного Сахалина

Таблица 19

Номенклатурный тип асс. *Stephanocystetum crassipae*.
Фрагмент электронной таблицы с первичным описанием

Table 19

Nomenclature type of the association *Stephanocystetum crassipae*.
The spreadsheet fragment with primary description

Дата	Участок	№ станции	Широта, град.	Долгота, град.	Глубина, м	Грунт	Макрофит	ПП, доля	УБМ, кг/м ²	Ярус
15.07.10	Мыс Аукан	306	49,89	140,42	3	Скала	<i>Saccharina cichorioides</i>		0,20	I
«	«	«	«	«	«	«	<i>Corallina officinalis</i>	0,30	1,00	III
«	«	«	«	«	«	«	<i>Agarum clathratum</i>	0,01	0,05	I
«	«	«	«	«	«	«	<i>Stephanocystis crassipes</i>	0,60	4,00	I
«	«	«	«	«	«	«	<i>Saccharina japonica</i>	0,01	0,10	I

[Петров, Поздеев, 1992], в зал. Восток Японского моря [Кашенко, 1999], у южных Курильских островов [Евсеева, 2007] и т.д.

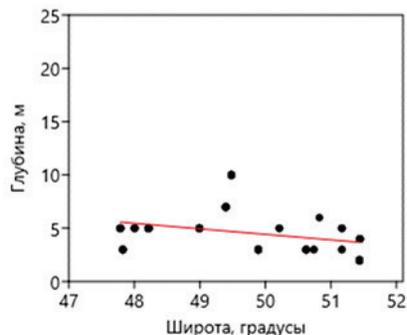


Рис. 11. Физиономический облик асс. *Stephanocystetum crassipae* (слева) и ее распространение у северо-западного побережья Японского моря (справа)

Fig. 11. Physiognomic appearance of the association *Stephanocystetum crassipae* (left panel) and its distribution at the northwestern coast of the Japan Sea (right panel)

Таблица 20

Качественные и количественные характеристики асс. *Stephanocystetum crassipae* у северо-западного побережья Японского моря

Table 20

Qualitative and quantitative characteristics of the association *Stephanocystetum crassipae* at the northwestern coast of the Japan Sea

№ вида	Вид	ПП, доля						УБМ, кг/м ²						ЧВА, %
		N	Min	Max	M	SE	Med	N	Min	Max	M	SE	Med	
1	<i>Stephanocystis crassipes</i> ГД	17	0,30	0,90	0,54	0,05	0,50	17	0,50	9,00	4,26	0,69	3,60	100
2	<i>Agarum clathratum</i> CI	7(4)	0,01	0,50	0,22	0,07	0,30	8	0,05	3,00	1,11	0,47	0,36	47
3	<i>Saccharina japonica</i> CI	6(1)	0,01	0,30	0,14	0,05	0,13	6	0,10	3,00	1,00	0,44	0,65	35
4	<i>Sargassum pallidum</i> CI	1(2)	0,40	0,50	0,45	0,05	0,45	4	0,30	6,00	3,40	1,30	3,60	24
5	<i>Saccharina cichorioides</i> CI	1(1)	0,20	0,20	0,20	—	0,20	6	0,20	2,70	1,62	0,68	0,98	35
6	<i>Phyllospadix iwataensis</i>	4	0,01	0,20	0,08	0,05	0,06	5	0,05	0,80	0,34	0,15	0,20	29
7	<i>Costaria costata</i>	1	0,05	0,05	0,05	—	0,05	2	0,08	0,10	0,09	0,01	0,09	12
8	<i>Desmarestia viridis</i>	1	0,10	0,10	0,10	—	0,10	2	0,20	0,80	0,50	0,30	0,50	12
9	<i>Sargassum miyabei</i>	1	0,10	0,10	0,10	—	0,10	1	1,00	1,00	1,00	—	1,00	6
10	<i>Alaria</i> sp.	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	1	0,01	0,01	0,01	—	0,01	6
11	<i>Chorda asiatica</i>	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	1	0,02	0,02	0,02	—	0,02	6
	I ярус, Σ	14	0,30	1,0	0,77	0,06	0,81	17	2,00	20,80	7,60	1,25	6,80	100
12	<i>Ptilota asplenoides</i> Д2	3(1)	0,40	0,40	0,40	—	0,40	3	0,04	1,40	0,85	0,41	1,10	18
13	<i>Tichocarpus crinitus</i> Д2	2(1)	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	2	0,06	4,40	2,23	2,17	2,23	12
14	<i>Odonothalia corymbifera</i>	4	0,01	0,20	0,14	0,06	0,20	4	0,01	0,60	0,31	0,17	0,31	24
15	<i>Neorhodomela larix</i>	4	0,01	0,20	0,11	0,10	0,11	4	0,02	0,80	0,34	0,19	0,27	24
16	<i>Callophyllis rhynchocarpa</i>	1	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	1	0,05	0,05	0,05	—	0,05	6
17	<i>Chondrus armatus</i>	1	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	1	0,30	0,30	0,30	—	0,30	6
18	<i>Codium fragile</i>	1	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	1	0,05	0,05	0,05	—	0,05	6
19	<i>Neohyrophyllum middendorffii</i>	1	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	1	0,15	0,15	0,15	—	0,15	6
	II ярус, Σ	12(3)	0,01	0,50	0,17	0,05	0,15	12	0,04	4,60	1,07	0,37	0,71	71
20	<i>Corallina officinalis</i> Д3	5(3)	0,20	0,60	0,32	0,07	0,30	5	0,80	1,00	0,90	0,07	0,80	29
21	<i>Bossiella compressa</i> Д3	4(2)	0,03	0,95	0,40	0,21	0,30	4	0,09	2,85	1,19	0,64	0,90	24
	III ярус, Σ	7(6)	0,20	0,95	0,45	0,10	0,30	5	0,80	2,85	1,45	0,37	1,10	29
22	КИВ	5(2)	0,02	0,30	0,15	0,06	0,10	5	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	29
	IV ярус, Σ	5(2)	0,02	0,30	0,15	0,06	0,10	5	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	29
	Σ	15	0,30	1,0	1,0	0,11	1,00	17	2,00	21,80	8,80	1,33	7,40	100

Сообщества с доминированием *Stephanocystis crassipes* распространены в Японском [Перестенко, 1980; Петров, Поздеев, 1992] и Охотском [Гусарова и др., 1993] морях.

Ассоциация *Ptilotetum asplenioidae* ass. nov. hoc loco, номенклатурный тип (holotypus hoc loco) приведен в табл. 21. Диагностический вид — *Ptilota asplenioides*. Количество описаний — 3. Ассоциация (табл. 22, рис. 12) региональная, ее фитоценозы встречаются вдоль всего района исследований. Формируется у открытых и полузащищенных побережий на валунных грунтах при уклоне дна от незаметного до отвесного. Отмечена на глубинах от 3 до 10 м. Глубинный тренд статистически незначим ($\alpha = 1,56 \pm 0,06$, $R^2 = 0,99$, $p < 0,0001$). Высота растительного покрова — до 0,3 м. Выявленная ЧВ — 1 %. ГД многолетний, прочая растительность представлена однолетними и многолетними видами. Выражено до 2 ярусов. Ценофлора насчитывает не менее 7 видов, в сборах от 1 до 3, в среднем 2 вида. Выраженный растительный покров формируется во II и III ярусах. Помимо ГД, в качестве доминанта в III ярусе отмечен 1 вид. Монодоминантными были два из трех (67 %) описанных фитоценозов ассоциации. Фитоценозы ассоциации неперспективны для промыслового освоения.

С борта ТНПА фитоценозы ассоциации опознаются в хороших условиях наблюдения — при достаточной прозрачности и относительно спокойной воде. Покрытие ГД поддается количественной оценке. В осложненных условиях можно констатировать только наличие сообществ красных водорослей II яруса. Наличие и покрытие расти-

Таблица 21

Номенклатурный тип асс. *Ptilotetum asplenioidae*.
Фрагмент электронной таблицы с первичным описанием

Table 21

Nomenclature type of the association *Ptilotetum asplenioidae*.
The spreadsheet fragment with primary description

Дата	Участок	№ станции	Широта, град.	Долгота, град.	Глубина, м	Грунт	Макрофит	ПП, доля	УБМ, кг/м ²	Ярус
12.07.10	Бухта Сизиман	192	50,78	140,49	10	Валуны	<i>Ptilota asplenioides</i>	0,50	4,4	2
«	«	«	«	«	«	«	КИВ	0,10		4
«	«	«	«	«	«	«	<i>Agarum clathratum</i>	0,20	0,6	1
«	«	«	«	«	«	«	<i>Stephanocystis crassipes</i>	0,05	1,4	1

Таблица 22

Качественные и количественные характеристики асс. *Ptilotetum asplenioidae*
у северо-западного побережья Японского моря

Table 22

Qualitative and quantitative characteristics of the association *Ptilotetum asplenioidae*
at the northwestern coast of the Japan Sea

№ вида	Вид	ПП, доля						УБМ, кг/м ²						ЧВА, %
		N	Min	Max	M	SE	Med	N	Min	Max	M	SE	Med	
1	<i>Saccharina japonica</i>	1	0,2	0,2	0,20	—	0,20	1	2,0	2,0	2,0	—	2,0	33
2	<i>Agarum clathratum</i>	1	0,2	0,2	0,15	—	0,15	1	0,6	0,6	0,6	—	0,6	33
3	<i>Sargassum pallidum</i>	1	0,1	0,1	0,05	—	0,05	1	0,2	0,2	0,2	—	0,2	33
4	<i>Stephanocystis crassipes</i>	1	0,1	0,1	0,05	—	0,05	1	1,4	1,4	1,4	—	1,4	33
	I ярус, Σ	2(2)	0,3	0,3	0,30	—	0,25	2	2,0	2,2	2,1	0,10	2,1	67
5	<i>Ptilota asplenioides</i> ГД	3	0,4	0,5	0,43	0,03	0,40	3	1,5	4,4	2,5	0,95	1,6	100
	II ярус, Σ	3	0,4	0,5	0,43	0,03	0,40	3	1,5	4,4	2,5	0,95	1,6	100
6	<i>Corallina officinalis</i> ДЗ	1(1)	0,4	0,4	0,40	—	0,40	1	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	33
	III ярус, Σ	1(1)	0,4	0,4	0,40	—	0,40	1	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	33
7	КИВ	1	0,1	0,1	0,10	—	0,10	1	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	33
	IV ярус, Σ	1(0)	0,1	0,1	0,10	—	0,10	1	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	33
	Σ	3	0,4	1,0	0,75	0,19	0,80	3	1,5	6,4	3,9	1,42	3,8	100

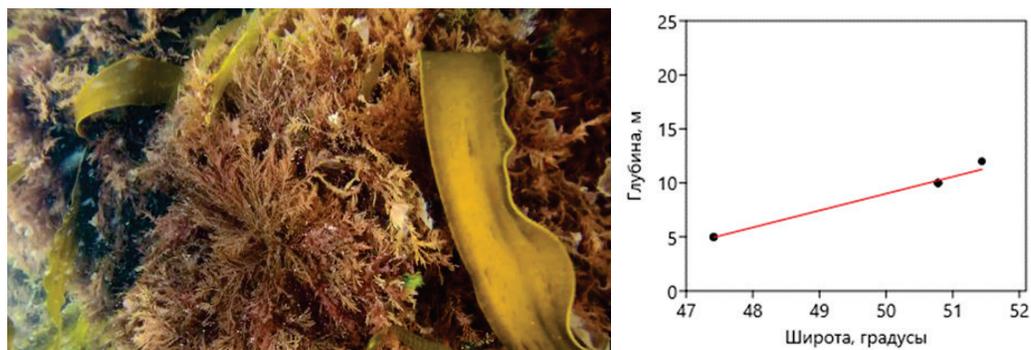


Рис. 12. Физиономический облик асс. *Ptilotetum asplenioidae* (слева) и ее распространение у северо-западного побережья Японского моря (справа)

Fig. 12. Physiognomic appearance of the association *Ptilotetum asplenioidae* (left panel) and its distribution at the northwestern coast of the Japan Sea (right panel)

тельности III и IV ярусов можно установить только при диффузном распределении ГД и растений верхних ярусов.

Сообщества с доминированием *Ptilota asplenioides* отмечены в Охотском море у берегов западной Камчатки [Возжинская, Блинова, 1970], возможно их нахождение в северо-западной части Охотского моря [Дуленин, 2023]. Кроме того, они отмечены у берегов восточной Камчатки [Перестенко, 1997].

Ассоциация *Odonthalietum corymbiferae* ass. nov. hoc loco, номенклатурный тип (holotypus hoc loco) приведен в табл. 23. Диагностический вид — *Odonthalia corymbifera*. Количество описаний — 5. Ассоциация (рис. 13, табл. 24) региональная, ее фитоценозы отмечены в южной части района исследований от мыса Туманного до мыса Сикта. Формируется у открытых побережий на скальных и валунных грунтах при уклоне дна от незаметного до слабонаклонного. Отмечена на глубинах от 4 до 10 м. Статистически значимый тренд ($\alpha = -2,95 \pm 0,27$, $R^2 = 0,82$, $p < 0,0001$) показывает ее преимущественную приуроченность к глубине 10 м. Высота растительного покрова — до 0,3 м. Выявленная ЧВ — 1 %. ГД многолетний, прочая растительность представлена однолетними и многолетними видами. Ценофлора насчитывает не менее 12 видов, в сборах от 4 до 6, в среднем 6 видов. ГД принадлежит ко II ярусу. Выражено до 4 ярусов растительности, при этом отдельные виды доминируют в трех нижних. Помимо ГД, в качестве субдоминанта во II ярусе отмечен 1 вид, в III — 2 вида и в IV — КИВ. Монодоминантными были 40 % фитоценозов ассоциации. Возможности опознания и описания ассоциации с борта ТНПА соответствуют таковым для асс. *Ptilotetum asplenioidae*.

Таблица 23

Номенклатурный тип асс. *Odonthalietum corymbiferae*.
Фрагмент электронной таблицы с первичным описанием

Table 23

Nomenclature type of the association *Odonthalietum corymbiferae*.
The spreadsheet fragment with primary description

Дата	Участок	№ станции	Широта, град.	Долгота, град.	Глубина, м	Грунт	Макрофит	ПП, доля	УБМ ₃ , кг/м ²	Ярус
04.08.10	Мыс Сикта	680	49,74	140,52	4	Валуны	<i>Agarum clathratum</i>		0,1	1
«	«	«	«	«	«	«	<i>Stephanocystis crassipes</i>	0,2	1,5	1
«	«	«	«	«	«	«	<i>Costaria costata</i>		0,1	1
«	«	«	«	«	«	«	<i>Odonthalia corymbifera</i>	0,4	2,0	2
«	«	«	«	«	«	«	<i>Bossiella compressa</i>	0,7	2,1	3
«	«	«	«	«	«	«	<i>Saccharina japonica</i>	0,2	3,0	1
«	«	«	«	«	«	«	<i>Agarum clathratum</i>		0,1	1

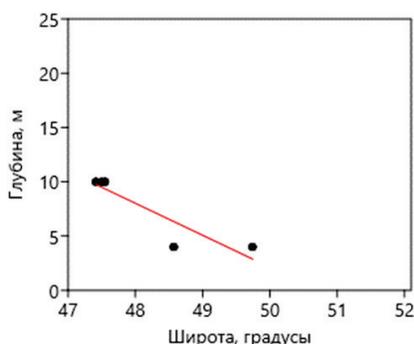


Рис. 13. Физиономический облик асс. *Odonthalietum corymbiferae* (слева) и ее распространение у северо-западного побережья Японского моря (справа)

Fig. 13. Physiognomic appearance of the association *Odonthalietum corymbiferae* (left panel) and its distribution at the northwestern coast of the Japan Sea (right panel)

Таблица 24

Качественные и количественные характеристики асс. *O. corymbiferae* у северо-западного побережья Японского моря

Table 24

Qualitative and quantitative characteristics of the association *O. corymbiferae* at the northwestern coast of the Japan Sea

№ вида	Вид	ПП, доля						УБМ, кг/м ²						ЧВА, %
		N	Min	Max	M	SE	Med	N	Min	Max	M	SE	Med	
1	<i>Phyllospadix iwatensis</i>	3	0,05	0,10	0,08	0,03	0,08	3	0	0,6	0,27	0,18	0,2	60
2	<i>Saccharina japonica</i>	2	0,20	0,20	0,20	–	0,20	2	0,2	3,0	1,60	1,40	1,6	40
3	<i>Agarum clathratum</i>	1	0,03	0,03	0,03	–	0,03	2	0,1	0,3	0,20	0,10	0,2	40
4	<i>Costaria costata</i>	1	0,05	0,05	0,05	–	0,05	2	0,1	0,3	0,20	0,10	0,2	40
5	<i>Desmarestia viridis</i>	1	0,05	0,05	0,05	–	0,05	2	0,2	0,4	0,30	0,10	0,3	40
6	<i>Stephanocystis crassipes</i>	1	0,20	0,20	0,20	–	0,20	1	1,5	1,5	1,50	–	1,5	20
7	<i>Sargassum pallidum</i>	1	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	1	5,0	5,0	5,00	–	5,0	20
	I ярус, Σ	5(1)	0,08	0,40	0,18	0,06	0,10	5	0,6	5,2	2,38	1,05	0,8	100
8	<i>Odonthalia corymbifera</i> ГД	5	0,40	0,60	0,48	0,05	0,40	5	0,3	6,0	2,16	1,00	1,5	100
9	<i>Neorhodomela larix</i> С2	3(1)	0,10	0,30	0,17	0,07	0,10	3	0,2	1,2	0,57	0,32	0,3	60
	II ярус, Σ	5	0,40	0,70	0,58	0,07	0,70	5	0,6	7,2	2,50	1,20	1,5	100
10	<i>Bossietta compressa</i> Д3	1	0,20	0,20	0,20	–	0,20	1	0,6	0,6	0,60	–	0,6	20
11	<i>Corallina officinalis</i> Д3	2(2)	0,30	0,50	0,40	0,10	0,40	2	0	1,2	0,60	0,60	0,6	40
	III ярус, Σ	4(3)	0,20	0,70	0,43	0,11	0,40	3	0,6	2,1	1,30	0,44	1,2	60
12	КИВ Д4	3(1)	0,10	0,30	0,23	0,07	0,30	3	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	60
	IV ярус, Σ	3(2)	0,10	0,30	0,23	0,07	0,30	3	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	60
	Σ	5	0,78	1,00	1,00	0,14	1,40	5	1,2	8,8	5,66	1,49	6,7	100

Растительность образует микрогруппировки. Ранее сообщества с доминированием *O. corimbifera* описаны в зал. Петра Великого [Перестенко, 1980] и у берегов западного Сахалина [Петров, Поздеев, 1992]. Вероятно, ассоциация распространена по всей российской части Японского моря.

Ассоциация *Bossielletum compressae* ass. nov. hoc loco, номенклатурный тип (holotypus hoc loco) приведен в табл. 25. Диагностический вид — *Bossietta compressa*. Количество описаний — 21. Ассоциация (рис. 14, табл. 26) региональная, ее фитоценозы обнаруживаются почти по всему району исследований (от мыса Крестовоздвиженского до зал. Накатова). Формируется у открытых и полузащищенных побережий на скальных, глыбовых, валунных и галечных грунтах при уклоне дна от незаметного до слабонаклонного. Выявленная ЧВ — 4 %. Отмечена в наиболее широком из всех

Номенклатурный тип асс. *Bossielletum compressae*.
Фрагмент электронной таблицы с первичным описанием

Table 25

Nomenclature type of the association *Bossielletum compressae*.
The spreadsheet fragment with primary description

Дата	Участок	№ станции	Ши-рота, град.	Дол-гота, град.	Глу-бина, м	Грунт	Макрофит	ПП, доля	УБМ, кг/м ²	Ярус
07.08.10	Мыс Кекурный	706	48,93	140,36	10	Глыбы	<i>Sargassum miyabei</i>	0,01	0,20	1
«	«	«	«	«	«	«	<i>Agarum clathratum</i>	0,10	0,40	1
«	«	«	«	«	«	«	<i>Desmarestia viridis</i>	0,05	0,05	1
«	«	«	«	«	«	«	<i>Saccharina japonica</i>	0,05	0,50	1
«	«	«	«	«	«	«	КИВ	0,30		4
«	«	«	«	«	«	«	<i>Bossella compressa</i>	0,40	1,20	3

Таблица 26

Качественные и количественные характеристики асс. *Bossielletum compressae*
у северо-западного побережья Японского моря

Table 26

Qualitative and quantitative characteristics of the association *Bossielletum compressae*
at the northwestern coast of the Japan Sea

№ вида	Вид	ПП, доля						УБМ, кг/м ²						ЧВА, %
		N	Min	Max	M	SE	Med	N	Min	Max	M	SE	Med	
1	<i>Agarum clathratum</i>	6	0,05	0,20	0,13	0,03	0,10	6	0,20	1,04	0,52	0,14	0,45	42
2	<i>Saccharina japonica</i>	4	0,01	0,10	0,05	0,02	0,05	4	0,10	0,50	0,30	0,09	0,30	23
3	<i>Desmarestia viridis</i>	3	0,05	0,10	0,07	0,02	0,05	3	0,10	0,20	0,12	0,04	0,10	23
4	<i>Phyllospadix iwataensis</i>	2	0,05	0,10	0,08	0,03	0,08	2	0,40	0,50	0,45	0,05	0,45	23
5	<i>Kjellmaniella crassifolia</i>	2	0,05	0,10	0,08	0,03	0,08	1	0,60	0,60	0,60	–	0,60	12
6	<i>Alaria</i> sp.	1	0,05	0,05	0,05	–	0,05	1	0,20	0,20	0,20	–	0,20	12
7	<i>Costaria costata</i>	1	0,01	0,01	0,01	–	0,01	1	0,10	0,05	0,05	–	0,05	8
8	<i>Saccharina angustata</i>	1	0,15	0,15	0,15	–	0,15	1	0,20	0,20	0,20	–	0,20	8
9	<i>S. cichorioides</i>	1	0,15	0,15	0,15	–	0,15	1	0,96	0,96	0,96	–	0,96	8
	I ярус, Σ	15(4)	0,01	0,46	0,18	0,04	0,13	15	0,10	2,95	0,77	0,23	0,50	4
10	<i>Neorhodomela larix</i>	3	0,03	0,20	0,14	0,06	0,20	5	0,02	0,70	0,20	0,13	0,05	4
11	<i>Congregatocarpus kurilensis</i>	2	0,10	0,10	0,10	–	0,10	3	0,05	0,20	0,12	0,04	0,10	65
12	<i>Odonthalia corymbifera</i>	1	0,10	0,10	0,10	–	0,10	3	0,01	0,10	0,05	0,03	0,05	19
13	<i>Ptilota filicina</i>	3	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	3	0,05	1,00	0,60	0,40	0,40	15
14	<i>Turnerella mertensiana</i>	3	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	3	0,05	0,10	0,07	0,02	0,05	12
15	<i>Callophyllis rhynchocarpa</i>	2	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	2	0,01	0,05	0,03	0,02	0,03	8
16	<i>Neohypophyllum middendorfi</i>	2	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	2	0,05	0,10	0,08	0,03	0,08	8
17	<i>Odonthalia setacea</i>	2	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	2	0,02	0,05	0,04	0,02	0,04	8
18	<i>Ulva fenestrata</i>	1	0,20	0,20	0,20	–	0,20	1	0,30	0,30	0,30	1,00	0,30	8
19	<i>Ptilota asplenioides</i>	1	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	1	0,03	0,03	0,03	1,00	0,03	8
	II ярус, Σ	16(5)	0,03	0,70	0,25	0,06	0,20	16	0,01	4,83	0,76	0,30	0,28	8
20	<i>Bossella compressa</i> ГД	21	0,30	0,90	0,44	0,04	0,30	21	0,80	2,70	1,32	0,13	0,90	8
	III ярус, Σ	21	0,30	0,90	0,43	0,04	0,30	21	0,80	2,70	1,29	0,13	0,90	4
21	КИВ Д4	18(8)	0,01	0,60	0,20	0,04	0,13	18	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	4
22	<i>Ralfsia fungiformis</i> C4	3(1)	0,05	0,30	0,15	0,08	0,10	3	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	4
	IV ярус, Σ	21(9)	0,01	0,80	0,25	0,04	0,20	21	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	4
	Σ	21	0,36	1,00	0,82	0,08	0,80	21	0,90	8,67	2,14	0,37	1,65	4

описанных ассоциаций диапазоне глубин — от 3 до 20 м. Весьма вероятно, что в дальнейшем фитоценозы ассоциации могут быть обнаружены еще ниже. Глубины расположения фитоценозов ассоциации статистически значимо ($\alpha = -2,66 \pm 0,56$, $R^2 = 0,17$,

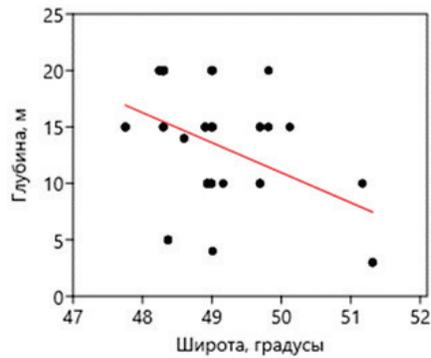


Рис. 14. Физиономический облик асс. *Bossiellum compressae* (слева) и ее распространение у северо-западного побережья Японского моря (справа)

Fig. 14. Physiognomic appearance of the association *Bossiellum compressae* (left panel) and its distribution at the northwestern coast of the Japan Sea (right panel)

$p < 0,0001$) уменьшаются к северу. Высота растительного покрова — до 0,05 м. ГД многолетний, прочая растительность представлена однолетними и многолетними видами. Ценофлора насчитывает не менее 22 видов, в сборах от 2 до 10, в среднем 5 видов. ГД принадлежит к III ярусу. Выражено до 4 ярусов растительности, при этом отдельные виды доминируют в двух нижних. Помимо ГД, в качестве субдоминанта во II ярусе отмечен 1 вид, в качестве доминантов в III ярусе — 2 вида и в IV ярусе — КИВ. Монодоминантными были 62 % фитоценозов ассоциации. ГД распределяется диффузно, образует микрогруппировки либо обширные пятна. Фитоценозы ассоциации неперспективны для промыслового освоения. При наблюдении с ТНПА *Bossiella compressa* легко может быть спутана с *Corallina officinalis*, поэтому точное визуальное опознание этой ассоциации может быть затруднено.

Судя по имеющемуся описанию, ассоциация должна быть распространена у западных берегов Сахалина и у берегов северного Приморья [Клочкова, 1996].

Сообщества неидентифицированных КИВ (рис. 15, табл. 27) обнаруживаются почти по всему району исследований (от бухты Нельма до бухты То). В настоящее время отсутствуют материалы для выделения отдельных ассоциаций в пределах этих сообществ. Они формируются у открытых и полузащищенных побережий на скальных, глыбовых, валунных и галечных грунтах при уклоне дна от незаметного до отвесного. Выявленная ЧВ — 5 %. Как и предыдущая ассоциация, эти сообще-

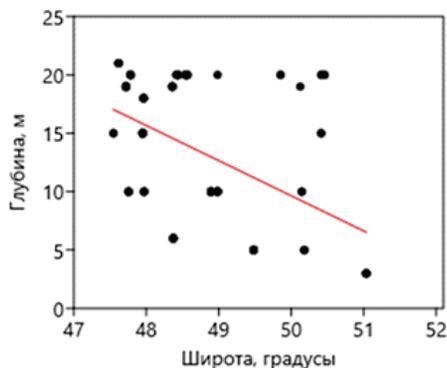


Рис. 15. Физиономический облик одного из фитоценозов КИВ (слева) и их распространение у северо-западного побережья Японского моря (справа)

Fig. 15. Physiognomic appearance of a phytocenosis of encrusting calcareous algae (left panel) and distribution of such phytocenoses at the northwestern coast of the Japan Sea (right panel)

ства отмечены в наиболее широком диапазоне глубин — от 3 до 22 м. Очевидно, они распространены и на больших глубинах. Глубина их расположения статистически значимо ($\alpha = -3,0 \pm 0,5$, $R^2 = 0,22$, $p < 0,0001$) уменьшается к северу, что можно объяснить подъемом нижнего края пояса твердых грунтов по направлению с юга на север района [Дуленин, Гусарова, 2016].

Таблица 27
 Качественные и количественные характеристики группы фитоценозов КИВ
 у северо-западного побережья Японского моря

Table 27

Qualitative and quantitative characteristics for the group of encrusting calcareous algae phytocenoses
 at the northwestern coast of the Japan Sea

№ вида	Вид	ПП, доля						УБМ, кг/м ²						ЧВА, %
		N	Min	Max	M	SE	Med	N	Min	Max	M	SE	Med	
1	<i>Agarum clathratum</i>	11	0,01	0,20	0,10	0,02	0,10	11	0,05	1,00	0,21	0,09	0,10	42
2	<i>Desmarestia viridis</i>	6	0,01	0,10	0,05	0,02	0,03	3	0,03	0,30	0,13	0,09	0,05	23
3	<i>Saccharina japonica</i>	6	0,01	0,20	0,09	0,04	0,07	6	0,10	3,00	1,01	0,45	0,65	23
4	<i>Kjellmaniella crassifolia</i>	4	0,01	0,20	0,09	0,04	0,08	6	0,05	0,30	0,14	0,04	0,13	23
5	<i>Costaria costata</i>	3	0,01	0,05	0,02	0,01	0,01	2	0,40	0,40	0,40	—	0,40	12
6	<i>Stephanocystis crassipes</i>	3	0,01	0,20	0,09	0,06	0,05	3	0,40	2,00	1,47	0,53	2,00	12
7	<i>Saccharina angustata</i>	2	0,05	0,10	0,08	0,03	0,08	2	0,05	0,50	0,28	0,23	0,28	8
8	<i>Alaria</i> sp.	1	0,20	0,20	0,20	—	0,20	2	0,01	1,60	0,81	0,79	0,81	8
9	<i>Sargassum pallidum</i>	1	0,20	0,20	0,20	—	0,20	2	0,10	0,80	0,45	0,35	0,45	8
10	<i>Phyllospadix iwatensis</i>	1	0,05	0,05	0,05	—	0,05	1	1,60	1,60	1,60	—	1,60	4
11	<i>Saccharina cichorioides</i>	1	0,02	0,02	0,02	—	0,02	1	0,30	0,30	0,30	—	0,30	4
	I ярус, Σ	17(4)	0,01	0,90	0,18	0,06	0,10	17	0,05	5,61	1,14	0,38	0,45	65
12	<i>Neorhodomela larix</i>	5	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	5	0	1,00	0,36	0,19	0,20	19
13	<i>Odonthalia corymbifera</i>	4	0,05	0,05	0,05	—	0,05	4	0,02	0,20	0,10	0,04	0,09	15
14	<i>Ptilota filicina</i>	3	0,20	0,20	0,20	—	0,20	3	0,03	0,50	0,31	0,14	0,40	12
15	<i>Ulva fenestrata</i>	2	0,05	0,05	0,05	—	0,05	2	0,05	0,12	0,09	0,04	0,09	8
16	<i>Callophyllis rhynchocarpa</i>	2	0,02	0,02	0,02	—	0,02	2	0,05	0,05	0,05	—	0,05	8
17	<i>Chondrus pinnulatus</i>	2	0,05	0,05	0,05	—	0,05	2	0,05	0,50	0,28	0,23	0,28	8
18	<i>Ptilota asplenoides</i>	2	0,05	0,05	0,05	—	0,05	2	0,20	0,20	0,20	—	0,20	8
19	<i>Tichocarpus crinitus</i>	2	0,01	0,01	0,01	—	0,01	2	0,01	0,10	0,06	0,05	0,06	8
20	<i>Odonthalia setacea</i>	2	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	2	0,001	0,02	0,01	0,01	0,01	8
21	<i>Sparlingia pertusa</i>	2	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	2	0,02	0,05	0,04	0,02	0,04	8
22	<i>Mazaella parksii</i>	1	0,05	0,05	0,05	—	0,05	1	0,02	0,02	0,02	—	0,02	4
23	<i>Ahnfeltia plicata</i>	1	0,05	0,05	0,05	—	0,05	1	0,05	0,05	0,05	—	0,05	4
24	<i>Neohypophyllum middendorffii</i>	1	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	1	0,05	0,05	0,05	—	0,05	4
25	<i>Devaleraea stenogona</i>	1	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	1	0,05	0,05	0,05	—	0,05	4
26	<i>Turnerella mertensiana</i>	1	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	1	0,05	0,05	0,05	—	0,05	4
	II ярус, Σ	15(2)	0,02	0,40	0,10	0,05	0,05	15	0,001	1,10	0,35	0,10	0,15	58
27	<i>Bossiella compressa</i>	11	0,01	0,20	0,11	0,02	0,10	11	0,03	0,60	0,33	0,06	0,30	42
28	<i>Corallina officinalis</i>	3	0,10	0,20	0,13	0,03	0,10	2	0,05	0,10	0,08	0,03	0,08	12
	III ярус, Σ	14(0)	0,01	0,20	0,12	0,02	0,10	13	0,03	0,60	0,34	0,05	0,30	54
29	КИВ ГД	26	0,30	1,00	0,53	0,04	0,50	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	100
30	<i>Hildenbrandtia rubra</i>	3	0,03	0,10	0,08	0,02	0,10	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	23
31	<i>Ralfsia fungiformis</i>	1	0,10	0,10	0,10	—	0,10	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	4
	IV ярус, Σ	26	0,30	1,00	0,53	0,04	0,55	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	100
	Σ	26	0,30	1,00	0,75	0,06	0,68	22	0,10	6,01	1,32	0,33	0,55	85

Высота растительного покрова ГД — порядка нескольких миллиметров. ГД многолетние, прочая растительность представлена однолетними и многолетними видами. Ценофлора насчитывает не менее 31 вида, при отдельных описаниях отмечается от 2 до 10, в среднем 5 видов. ГД принадлежит к IV ярусу. Растительный покров был развит

в пределах до 3 ярусов растительности, при этом ни один из видов, кроме группировок КИВ, не преодолел порога доминирования. Все фитоценозы были монодоминантными. ГД образует микрогруппировки и пятна. Фитоценозы неперспективны для промышленного освоения. Опознать и оценить их ПП с борта ТНПА легко почти при любых условиях наблюдения.

Сообщества КИВ в морях Дальнего Востока России распространены повсеместно [Паймеева, Гусарова, 1993; Перестенко, 1996; Гусарова и др., 2012; Блинова, 2014; и т.д.].

Ассоциация *Phyllospadicetum iwatensis* den Hartog, 1977 in den Hartog, 2016 была выделена у берегов Хоккайдо и Китая в литоральных ваннах и у нуля глубин [den Hartog, 2016]. Эти экологические условия существенно отличаются от наших, где фитоценозы ассоциации формируются, как правило, на глубинах от 2 до 5, местами до 10 м. Тем не менее автор воздерживается от описания новой ассоциации. Здесь приведены характеристики ассоциации в СЗЯМ. Диагностический вид — *Phyllospadix iwatensis*. Количество описаний — 21. Ассоциация (табл. 28, рис. 16) региональная, образована многолетней морской травой. Ее фитоценозы распространены практически по всему

Таблица 28

Качественные и количественные характеристики асс. *Phyllospadicetum iwatensis* у северо-западного побережья Японского моря

Table 28

Qualitative and quantitative characteristics of the association *Phyllospadicetum iwatensis* at the northwestern coast of the Japan Sea

№ вида	Вид	ПП, доля						УБМ, кг/м ²						ЧВА, %
		N	Min	Max	M	SE	Med	N	Min	Max	M	SE	Med	
1	<i>Phyllospadix iwatensis</i> ГД	31	0,30	0,90	0,50	0,03	0,45	31	0,20	11,40	4,45	0,49	4,00	100
2	<i>Stephanocystis crassipes</i> CI	13(2)	0,05	0,30	0,18	0,02	0,20	13	0,10	2,00	1,18	0,19	1,50	42
3	<i>Saccharina japonica</i> CI	11(2)	0,05	0,30	0,17	0,02	0,16	11	0,10	3,00	1,23	0,31	1,00	35
4	<i>Alaria</i> sp. CI	4(1)	0,03	0,40	0,16	0,08	0,11	5	0,10	2,30	0,70	0,41	0,30	16
5	<i>Sargassum pallidum</i> CI	4(1)	0,10	0,40	0,23	0,06	0,22	4	0,80	14,00	6,60	2,75	5,80	13
6	<i>Sargassum miyabei</i> CI	4(1)	0,10	0,30	0,17	0,05	0,13	4	2,00	4,00	3,00	0,41	3,00	13
7	<i>Agarum clathratum</i>	4	0,05	0,20	0,10	0,04	0,08	7	0,05	1,60	0,67	0,20	0,67	23
8	<i>Costaria costata</i>	3	0,05	0,20	0,13	0,04	0,13	4	0,05	2,00	0,95	0,40	0,88	13
9	<i>Desmarestia viridis</i>	3	0,05	0,10	0,08	0,01	0,08	3	0,10	0,20	0,15	0,03	0,15	10
10	<i>Saccharina cichorioides</i>	2	0,10	0,10	0,10	–	0,10	5	0,01	12,40	3,36	2,34	1,00	16
11	<i>Chorda asiatica</i>	2	0,05	0,05	0,05	–	0,05	2	0,20	0,20	0,20	–	0,20	6
	I ярус, Σ	31(31)	0,30	1,10	0,73	0,04	0,75	31	1,50	20,40	7,10	0,71	6,60	100
12	<i>Tichocarpus crinitus</i> Д2	3(1)	0,05	0,30	0,18	0,07	0,18	5	0,03	0,40	0,16	0,06	0,12	16
13	<i>Odonthalia corymbifera</i>	4	0,10	0,15	0,12	0,01	0,11	5	0,20	0,50	0,35	0,05	0,35	16
14	<i>Ulva fenestrata</i>	3	0,05	0,20	0,13	0,04	0,13	4	0,30	0,80	0,63	0,12	0,72	13
15	<i>Ptilota asplenioides</i>	3	0,05	0,10	0,08	0,01	0,08	3	0,20	2,40	1,30	0,64	1,30	10
16	<i>Neorhodomela larix</i>	2	0,10	0,10	0,10	–	0,10	2	0,30	0,30	0,30	–	0,30	6
17	<i>Codium fragile</i>	2	0,02	0,02	0,02	–	0,02	3	0,30	1,00	0,65	0,20	0,65	10
18	<i>Chordaria flagelliformis</i>	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	2	0,20	0,20	0,20	–	0,20	6
19	<i>Laurencia nipponica</i>	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	2	0,03	0,03	0,03	–	0,03	6
20	<i>Mazaella parksii</i>	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	2	0,02	0,02	0,02	–	0,02	6
	II ярус, Σ	15(3)	0,05	0,32	0,14	0,02	0,10	16	0,20	3,20	0,76	0,18	0,50	52
21	<i>Bossiella compressa</i> Д3	3(2)	0,30	0,50	0,40	0,07	0,40	3	0,90	1,50	1,20	0,17	1,20	23
22	<i>Corallina officinalis</i> Д3	4(1)	0,15	0,30	0,22	0,03	0,21	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	13
23	<i>Corallina pilulifera</i> Д3	3(1)	0,10	0,50	0,30	0,12	0,30	2	0,30	1,50	0,90	0,35	0,90	10
	III ярус, Σ	10(8)	0,10	0,90	0,47	0,08	0,50	8	0,30	2,70	1,50	0,26	1,50	32
24	КИВ	11(3)	0,05	0,30	0,15	0,03	0,10	11	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	35
	IV ярус, Σ	11(3)	0,05	0,30	0,15	0,03	0,10	11	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	Н.д	35
	Σ	31	0,30	1,00	1,00	0,08	1,00	31	1,80	20,70	7,91	0,73	7,42	100

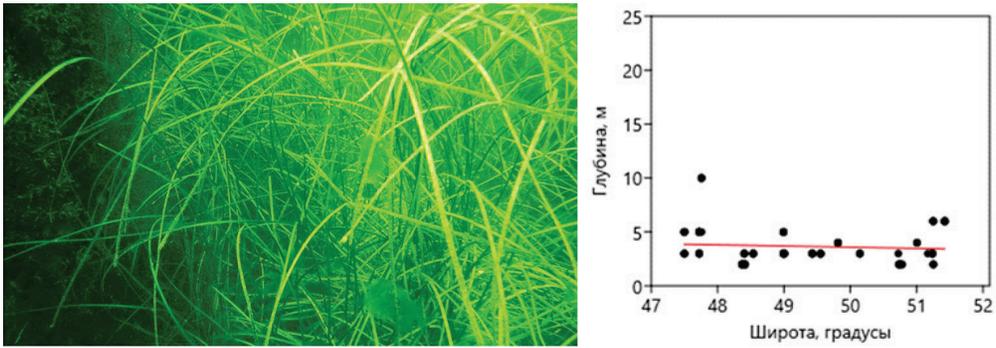


Рис. 16. Физиономический облик асс. *Phyllospadicetum iwatensis* (слева) и ее распространение у северо-западного побережья Японского моря (справа)

Fig. 16. Physiognomic appearance of the association *Phyllospadicetum iwatensis* (left panel) and its distribution at the northwestern coast of the Japan Sea (right)

району исследований (от бухты Нельма до зал. Чихачева). Формируется у открытых и полузащищенных побережий на скальных, глыбовых и валунных грунтах при уклоне дна от незаметного до слабонаклонного. Выявленная ЧВ — 6 %. Ассоциация отмечена в диапазоне глубин от 0,5 до 10,0 м, гидрботанические описания выполнены в диапазоне 2–10 м. Ее фитоценозы распределяются по глубине относительно равномерно ($\alpha = -0,11 \pm 0,12$, $R^2 = 0,07$, $p = 0,35$). Высота растительного покрова ГД — до 1 м. ГД многолетний, прочая растительность представлена однолетними и многолетними видами.

Ценофлора насчитывает не менее 24 видов, в сборах отмечалось от 1 до 8, в среднем 4 вида. ГД принадлежит к I ярусу. Развитый растительный покров встречался в пределах всех четырех ярусов растительности. В качестве субдоминантов I яруса выступали 5 видов, во II ярусе отмечено доминирование 1 вида, в III ярусе — 3 видов и в IV ярусе — КИВ. Монодоминантными были 65 % фитоценозов ассоциации. В смешанных зарослях дернины филлоспадикса перемежаются с микрогруппировками прочей растительности. ГД образует поля на обширных валунных мелководьях во внешних частях бухт, пояса и пятна вдоль открытых прибойных побережий. Фитоценозы ассоциации могут быть перспективными для промышленного освоения. ГД и субдоминанты I яруса ассоциации легко поддаются опознанию и оценке ПП с борта ТНПА. Растения II яруса могут быть визуальными опознаны и количественно учтены только при хороших условиях наблюдения. Опознание и количественный учет растительности двух нижних ярусов затруднены.

Сообщества *Phyllospadix iwatensis* ранее описаны в Приморье [Скарлато и др., 1967], у о. Монерон [Фадеев, 1985] и берегов западного Сахалина [Петров, Поздеев, 1992], у южных Курильских островов [Евсеева, 2007] и т.д. С учетом данных ден Хартога [den Hartog, 2016] о распространении ассоциации у берегов Японии и Китая следует сделать вывод, что асс. *Phyllospadicetum iwatensis* распространена в пределах всей приазиатской части низкорейальной подзоны.

Ассоциация *Zosteretum asiaticae* Ohba et Miyata 2007 in den Hartog 2016 была описана у берегов Японии. Ассоциация региональная, образована многолетней морской травой (рис. 17). В районе исследований выполнено 30 описаний. Как и в случае с филлоспадиксом, ее фитоценозы распространены практически по всему району исследований (от бухты Незаметной на юге до зал. Чихачева на севере). Формируется у открытых, полузащищенных и хорошо защищенных побережий, как правило, с незаметным, иногда со слабонаклонным уклоном дна. У открытых побережий селится на песках, чаще всего ниже глыбово-валунных свалов с расположенным на них водорослевым поясом. Занимает центральные части полузащищенных бухт с песчаными грунтами. В защищенных бухтах формируется на сильно заиленных грунтах. Выявленная

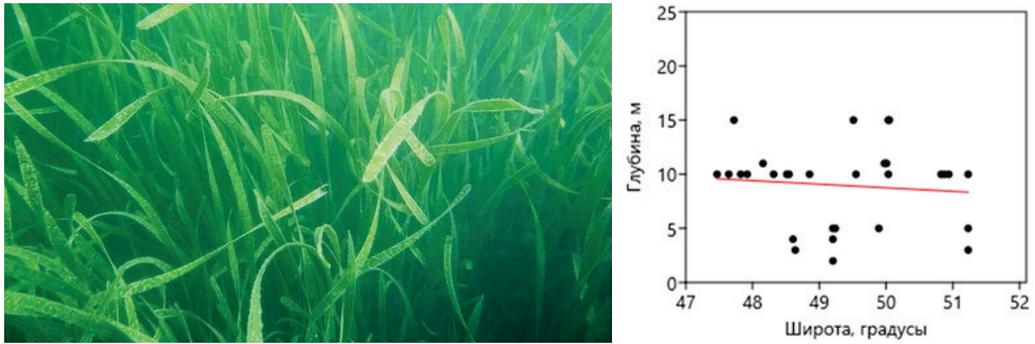


Рис. 17. Физиономический облик асс. *Zosteretum asiaticae* (слева) и ее распространение у северо-западного побережья Японского моря (справа)

Fig. 17. Physiognomic appearance of the association *Zosteretum asiaticae* (left panel) and its distribution at the northwestern coast of the Japan Sea (right panel)

ЧВ — 6 %. Отмечена от сублиторальной каймы (0 глубин) до 15 м. Распределение по глубине относительно равномерно ($\alpha = -0,33 \pm 0,60$, $R^2 = 0,01$, $p = 0,59$). Высота растительного покрова до 2 м.

В ценофлоре ассоциации отмечен единственный вид *Zostera asiatica* с ПП = 0,4–1,0 ($0,67 \pm 0,04$) при медианном значении 0,65, УБМ = 0,2–6,0 ($2,50 \pm 0,23$) кг/м² при медианном значении 2,45 кг/м².

Ассоциация формируется многолетними растениями I яруса. В связи с отсутствием субстратов для прикрепления водорослей сопутствующие виды в пределах ассоциации практически отсутствуют. Все фитоценозы zostеры азиатской монодоминантны. Зостера распределяется диффузно либо пятнами. В бухтах образует поля до 1 км в поперечнике, у открытых берегов — пояса шириной от десятков до сотен метров и протяженностью от 1–2 до 10–12 км. На мелководьях (менее 4 м) кутовых частей закрытых бухт zostера азиатская замещается фитоценозами ассоциации zostеры морской. Фитоценозы ассоциации поддаются опознанию и количественному учету с борта ТНПА практически при любых условиях наблюдения.

Сообщества *Z. asiatica* описаны в зал. Посыета [Скарлато и др., 1967] и у южных Курильских островов [Евсеева, 2007]. Как и для предыдущей ассоциации, с учетом данных den Hartog [2016] о распространении ассоциации у берегов Японии, следует заключить, что ассоциация *Zosteretum asiaticae* распространена по всей приазиатской части низкобореальной подзоны.

Ассоциация *Zosteretum marinae* Br.-Bl. et Tx. ex Pignatti 1953 [Mucina et al., 2016] локальная, как и предыдущая, образованная многолетней морской травой (рис. 18). Формируется на песчаных, песчано-илистых и илистых грунтах на мелководьях (от 0 до 3–4 м) кутовых частей хорошо защищенных бухт второго порядка, в заливах Чихачева и Советская Гавань, а также в бухте Фальшивой. По глубине распределяется равномерно. Высота растительного покрова — около 0,6 м. Распространена на участках с незаметным или слабым уклоном дна. Образована растительностью I яруса. Все фитоценозы ассоциации монодоминантны. Выявленная ЧВ — 3 %. Образует поля и пояса. На листьях формируется синюзия эпифитов (*Kornmannia leptoderma* (Kjellman) Blieding, *Campylaephora hyphaeoides* J. Agardh, *Melanothamnus japonicus* (Harvey) Díaz-Tapia et Maggs, *Pneophyllum zostericola* (Foslie) D. Fujita), хорошо выраженная в летне-осенний период. В литературных источниках указываются и другие виды эпифитов на листьях zostеры: *Halothrix lumbricalis* (Kützing) Reinke, *Eudesme crassa* (Suringar) Okamura, *Rhodophysema georgii* Batters [Клочкова, 1996; Гусарова и др., 2002]. В приустьевых участках рек характерны переходы от плотных зарослей к разреженным поселениям и отдельным пятнам, несмотря на то, что zostера устойчива к понижению



солености и выносит распределение до 9 ‰ [Паймеева, 1984]. Фитоценозы ассоциации поддаются опознанию и учету ПП с борта ТНПА практически при любых условиях наблюдения.

Рис. 18. Физиономический облик асс. *Zosteretum marinae*

Fig. 18. Physiognomic appearance of the association *Zosteretum marinae*

В ценофлоре ассоциации, помимо эпифитов, отмечен единственный вид *Zostera marina* с ПП = 0,4–1,0 ($0,73 \pm 0,04$) при медианном значении 0,7, УБМ = 1–3 ($2,23 \pm 0,19$) кг/м² при медианном значении 2 кг/м².

В Японском море фитоценозы ассоциации распространены у его материкового побережья [Щапова, 1957], в зал. Петра Великого [Скарлато и др., 1967], у западного Сахалина [Петров, Поздеев, 1992]. В Охотском море — на мелководных участках заливов северо-западного материкового побережья [Дуленин, 2023], северной части моря, западной Камчатки [Блинова, 1971], восточного Сахалина [Перестенко, 1996], южных Курильских островов [Евсеева, 2007]. В Беринговом море и Тихом океане — у восточного побережья Камчатки [Перестенко, 1997].

Общая характеристика ассоциаций сублиторальной растительности у северо-западного побережья Японского моря. В результате исследования описаны 16 ассоциаций и одна группа фитоценозов сублиторальных донных макрофитов. Их синтаксономическая классификация и общие экосистемные характеристики уже даны ранее [Дуленин, 2021].

Визуальное опознание и оценки ПП ассоциаций целесообразно проводить в летнее время, в период наибольшего развития пояса растительности. Летом все доминанты и субдоминанты ассоциаций с ГД I яруса (ламинариевые, саргассовые водоросли и морские травы) могут быть уверенно идентифицированы, а оценка их ПП не вызывает затруднений. Поскольку эти ассоциации верхнего яруса формируют промысловые ресурсы, то с борта ТНПА могут быть получены необходимые данные об их составе и ПП. Идентификация и оценки ПП растений нижних ярусов в этих ассоциациях могут быть затруднены или невозможны. Ассоциации с ГД II яруса (кустистые красные водоросли) могут быть опознаны в спокойную погоду при максимально прозрачной воде, по возможности на участках с минимальным волнением и течениями. Ассоциация III яруса (*Bossielletum compressae*) вряд ли может быть однозначно опознана без взятия проб со дна. Группу сообществ КИВ легко опознать и оценить ПП при любых условиях наблюдения. Поскольку ассоциации растительности нижних ярусов района исследований не имеют промыслового значения, ограниченные возможности их визуальной идентификации не создают практических трудностей.

Величины обилия ГД ассоциаций района подтверждают взгляд на растительные ассоциации района, как на мозаику АЗ, в которых главный доминант каждой ассоциации создает ЭПС (табл. 29). В среднем ГД формируют 58 % ПП (табл. 31) и 53 % УБМ, т.е. большую часть обилия. В 14 из 17 случаев ГД создает не менее половины ПП каждой ассоциации, а в 11 из 17 случаев ГД образует не менее половины УБМ каждой ассоциации. Однако более внимательное рассмотрение данных позволяет свести число исключений к минимуму. Дело в том, что ассоциации,

Общие количественные характеристики растительных ассоциаций сублиторали у северо-западного побережья Японского моря

Table 29

General quantitative characteristics for the vegetation associations at the northwestern coast of the Japan Sea

№	Ассоциация	Доля ГД по ПП, %	Доля ГД по УБМ, %	Площадь, га	Биомасса, тыс. т	Биомасса ГД, тыс. т	Пром. запас, тыс. т
1	<i>Ulvetum fenestratae</i>	56	22	3	6	1	
2	<i>Saccharinetum japonicae</i>	54	65	37	339	219	94
3	<i>Saccharinetum cichorioideae</i>	50	42	9	75	31	13
4	<i>Kjellmaniellum crassifoliae</i>	50	37	3	10	4	
5	<i>Costaretum costatae</i>	40	51	3	27	14	
6	<i>Agaretum clathratae</i>	50	39	46	201	78	
7	<i>Desmarestetum viridae</i>	78	51	4	17	9	
8	<i>Sargassetum miyabaeae</i>	57	60	9	81	48	22
9	<i>Sargassetum pallidae</i>	62	60	12	144	87	52
10	<i>Stephanocystetum crassipae</i>	54	48	9	81	39	16
11	<i>Ptilotetum asplenioidae</i>	57	51	3	12	8	
12	<i>Odonthalietum corymbiferae</i>	48	38	3	17	7	
13	<i>Bossiellum compressae</i>	44	62	12	26	16	
14	Сообщества КИВ	53	—	15		0	
15	<i>Zosteretum marinae</i>	100	100	18	146	82	53
16	<i>Zosteretum asiaticaе</i>	100	100	9	23	23	23
17	<i>Phyllospadicetum iwatensae</i>	50	52	19	42	42	42
	M/Σ	M = 58	M = 53	Σ = 217	Σ = 1248	Σ = 709	Σ = 316

где ГД формирует менее половины общего ПП, описаны по 3–5 площадкам. Это *Costaretum costatae* и *Odonthalietum corymbiferae*. Иными словами, наблюдаемые исключения обусловлены недостатком статистики по этим ассоциациям. Единственной ассоциацией, описанной по значительному объему данных (19 описаний), где ГД формирует менее половины общего ПП, оказалась *B. compressae*. Однако это исключение может быть связано с особенностями оценки ПП в этой ассоциации: из-за малого поперечного сечения талломов *Bossiella compressa* (1–2 мм) они закрывают относительно небольшую долю поверхности дна и получают более низкие оценки ПП. Исключения же в оценках УБМ объясняются приоритетным порядком ранжирования по ПП: виды, формирующие наибольшее покрытие, указывали в качестве ГД, даже если они имели относительно небольшие показатели УБМ (например *Ulva fenestrata*, *Kjellmaniella crassifolia*, *Agarum clathratum*). Указанные исключения свидетельствуют о том, что такие виды, даже при относительно небольшой биомассе, тем не менее побеждают в борьбе за субстрат, занимая наибольшую долю площади дна в своих фитоценозах.

Тот факт, что АЗ — это участки с наибольшими показателями обилия ГД, позволяет утверждать, что площадь АЗ равна площади промысловых поселений, и оценить запасы макрофитов, приуроченные к ассоциациям (табл. 29), как это сделано для северо-западной части Охотского моря [Дуленин, 2023]. Общая площадь, занятая ассоциациями растительности, — 217 км², т.е. около 2/3 от общей площади пояса растительности. Остальная площадь занята экотонными зонами на границах фитоценозов и разреженными поселениями макрофитов, где их растительный покров не выражен. Суммарная биомасса растительности в пределах ассоциаций оценена в 1248 тыс. т, из которых биомасса ГД ассоциаций — 709 тыс. т. Суммарный промысловый запас макрофитов района оценен в 316 тыс. т. Эта цифра хорошо

соотносится с ранее сделанными оценками [Ресурсы..., 2020], когда суммарный промысловый запас макрофитов района был оценен в 283 тыс. т. Единственный вид, который сейчас осваивается промыслом, — *Saccharina japonica*. Несколько бóльшая величина промыслового запаса в пределах ее АЗ по сравнению с прежними оценками запаса (соответственно 94 тыс. т против 81 тыс. т) объясняется тем, что традиционно промысловый запас этого вида учитывали на наиболее доступных для промысла мелководьях (до 6 м), тогда как учет приуроченных к АЗ запасов показывает их во всем диапазоне формирования ассоциаций вида. Статистически значимые различия между этими оценками отсутствуют ($p = 0,79$). В Охотском море оценки запасов, приуроченных к АЗ макрофитов и выполненных традиционным способом, также показали сходные результаты [Дуленин, 2023], что свидетельствует о применимости концепции АЗ для оценки промысловых ресурсов сублиторали различных районов с выраженным доминированием отдельных видов растительности.

Абиотические условия района исследований аналогичны таковым для всей северной части Японского моря [Пищальник, Бобков, 2000; Лоция..., 2003*], разные районы этой части моря имеют сходный флористический состав донной растительности [Клочкова, 1996]. Очевидно, что состав и структура сублиторальных ассоциаций района исследований сходны с таковыми в других районах северной части Японского моря. До появления сколько-нибудь полных сведений о подводной растительности северного Приморья и западного Сахалина изложенные в настоящей статье данные с известными допущениями могут быть использованы при описании ценотической структуры макрофитобентоса этих районов.

Выводы

В северо-западной части Японского моря выделено 16 ассоциаций (*Ulvetum fenestratae*, *Saccharinetum japonicae*, *S. cichorioidae*, *Kjellmaniellum crassifoliae*, *Costarietum costariae*, *Agaretum clathratae*, *Desmarestetum viridae*, *Sargassetum miyabeae*, *S. pallidae*, *Stephanocystetum crassipae*, *Bossielletum compressae*, *Ptilotetum asplenioidae*, *Odonthalietum corymbiferae*, *Zosteretum marinae*, *Z. asiatica*, *Phillospadicetum iwatensis*) и одна группа сообществ корковых известковых водорослей. В среднем ГД ассоциаций формируют 58 % их ПП и 53 % УБМ, т.е. бóльшую часть их обилия. Это подтверждает взгляд на растительные ассоциации района как на мозаику АЗ, в которых главный доминант каждой ассоциации создает ЭПС.

Визуальное опознание и оценки ПП ассоциаций целесообразно проводить в летнее время, в период наибольшего развития пояса растительности. В это время все доминанты и субдоминанты ассоциаций с ГД I яруса (ламинариевые, саргассовые водоросли и морские травы) могут быть уверенно идентифицированы, а оценка их ПП не вызывает затруднений. Возможности идентификации и оценки ПП растительности нижних ярусов ограничены.

Промысловые запасы макрофитов района оценены в 324 тыс. т, из них *Saccharina japonica* — 94 тыс. т. Выполненные оценки не имеют статистически значимых отличий от сделанных ранее ($p = 0,78$). Концепция АЗ применима для оценки промысловых ресурсов макрофитов сублиторали различных районов с выраженным доминированием отдельных видов.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Автор благодарит ведущего научного сотрудника ХабаровскНИРО, к.б.н. В.В. Свиридова за оценку площадей растительности района исследований при помощи ГИС-инструментов.

* Лоция... (2003).

The author is thankful to Ph.D. V.V. Sviridov, leading researcher of KhabarovskNIRO, for his assistance in measuring coverage of vegetation using GIS tools.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.
The study was not supported by sponsors.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все приемлемые национальные, институциональные и международные этические принципы соблюдены. Автор заявляет об отсутствии у него конфликта интересов.

All acceptable national, institutional and international ethical principles were followed. The author declares that he has no conflict of interest.

Список литературы

- Арзамасцев И.С., Преображенский Б.В.** Атлас подводных ландшафтов Японского моря. — М. : Наука, 1990. — 224 с.
- Блинова Е.И.** Водоросли-макрофиты и травы дальневосточных морей России (флора, распространение, биология, запасы, марикультура) : моногр. — М. : ВНИРО, 2014. — 240 с.
- Блинова Е.И.** Основные водоросли северо-восточной части Охотского моря (распределение, экология, фитомасса) // Раст. ресурсы. — 1971. — Т. 7, № 2. — С. 252–259.
- Бывалина Т.П., Клочкова Н.Г., Фадеев В.И.** Макрофитобентос сублиторали западного Сахалина // Бентос и условия его существования на шельфовых зонах Сахалина. Владивосток : ДВНЦ, 1985. — С. 27–42.
- Возжинская В.Б., Блинова Е.И.** Материалы по распределению и составу водорослей Камчатки (Охотское море) // Тр. ИОАН СССР. — 1970. — Т. 88. — С. 298–307.
- Волвенко И.В.** Адаптивная зона, петерсеновские сообщества, ареал и экологическая ниша. Сообщение 1. Определения и соотношение понятий // Изв. ТИНРО. — 2018. — Т. 195. — С. 3–27. DOI: 10.26428/1606-9919-2018-195-3-27.
- Голиков А.Н., Скарлато О.А., Табунков В.Д.** Некоторые биоценозы верхних отделов шельфа южного Сахалина и их распределение // Биоценозы и фауна шельфа южного Сахалина. — Л. : Наука, 1985. — С. 4–68. (Исслед. фауны морей; Т. 30(38).)
- Гусарова И.С.** Глубоководная растительность у берегов северного Приморья // Изв. ТИНРО. — 2010. — Т. 160. — С. 118–127.
- Гусарова И.С.** Сублиторальная растительность и ее сезонная динамика в одной из бухт северо-западной части Японского моря // Гидробиологические исследования заливов и бухт Приморья. — Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1984. — С. 12–27.
- Гусарова И.С., Колпаков Н.В., Кулепанов В.Н.** Распределение растительности и рыб на мелководье острова Рейнке (залив Петра Великого) в летний период // Изв. ТИНРО. — 2012. — Т. 171. — С. 26–39.
- Гусарова И.С., Суховеева М.В., Дуленин А.А.** Аннотированный список водорослей-макрофитов северо-западной части Татарского пролива // Изв. ТИНРО. — 2002. — Т. 131. — С. 327–339.
- Гусарова И.С., Суховеева М.В., Жмакин А.Ф.** Водоросли-макрофиты // Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. 9 : Охотское море; вып. 2 : Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности. — СПб. : Гидрометеоздат, 1993. — С. 145–154.
- Дальневосточный морской биосферный заповедник.** Биота. Т. 2 / отв. ред. А.Н. Тюрин. — Владивосток : Дальнаука, 2004. — 848 с.
- Дуленин А.А.** О выделении ассоциаций морских донных макрофитов северо-западной части Татарского пролива // Вопр. соврем. альгологии. — 2021. — № 3(27). — С. 1–17. DOI: 10.33624/2311-0147-2021-3(27)-1-17.
- Дуленин А.А.** Распределение сублиторальной растительности материкового побережья Охотского моря (в пределах Хабаровского края) // Изв. ТИНРО. — 2015. — Т. 180. — С. 107–127.
- Дуленин А.А.** Характеристика сублиторальной растительности северо-западной части Охотского моря на основании концепции адаптивной зоны // Изв. ТИНРО. — 2023. Т. 203, вып. 4. — С. 822–851. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-822-851. EDN: DYQMYG.

Дуленин А.А., Гусарова И.С. Широтные изменения состава и структуры растительности в северо-западной части Татарского пролива // Биол. моря. — 2016. — Т. 42, № 4. — С. 260–267.

Дуленин А.А., Свиридов В.В., Харитонов А.В. Методические особенности фото- и видеосъемки с помощью подводных роботов в прибрежных исследованиях у морских побережий большой протяженности // Водные биологические ресурсы России: состояние, мониторинг, управление : докл. 2-й Всерос. науч. конф., посвящ. 90-летию КамчатНИРО. — Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2022. — С. 54–61.

Евсеева Н.В. Макрофитобентос прибрежной зоны южных Курильских островов // Биология, состояние запасов и условия обитания гидробионтов в Сахалино-Курильском регионе и сопредельных акваториях : Тр. СахНИРО. — 2007. — Т. 9. — С. 125–145.

Изучение экосистем рыбохозяйственных водоемов, сбор и обработка данных о водных биологических ресурсах, техника и технология их добычи и переработки / сост. Е.И. Блинова, О.Ю. Вилкова, Д.М. Милютин и др. — М. : ВНИРО, 2005. — Вып. 3 : Методы ландшафтных исследований и оценки запасов донных беспозвоночных и водорослей морской прибрежной зоны. — 139 с.

Калита Т.Л., Скрипцова А.В. Современное состояние сообщества *Zostera marina* + *Stephanocystis crassipes* в проливе Босфор-Восточный Японского моря // Биол. моря. — 2018. — Т. 44, № 1. — С. 26–35.

Калита Т.Л., Скрипцова А.В. Сублиторальные сообщества макрофитов Уссурийского и Амурского заливов (Японское море) в современных условиях // Биол. моря. — 2014. — Т. 40, № 6. — С. 427–434.

Кашенко Н.В. Видовой состав и количественное распределение макрофитов на литорали и верхней сублиторали острова Фуругельма (залив Петра Великого Японского моря) // Биол. моря. — 2002. — Т. 28, № 3. — С. 181–186.

Кашенко Н.В. Донные сообщества макрофитов залива Восток Японского моря // Биол. моря. — 1999. — Т. 25, № 5. — С. 360–364.

Клочкова Н.Г. Флора водорослей-макрофитов Татарского пролива и особенности ее формирования : моногр. — Владивосток : Дальнаука, 1996. — 291 с.

Миркин Б.М., Розенберг Г.С., Наумова Л.Г. Словарь понятий и терминов современной фитоценологии : справочное издание. — М. : Наука, 1989. — 223 с.

Паймеева Л.Г. Биология *Zostera marina* L. и *Zostera asiatica* Miki Приморья : дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток : ТИНРО, 1984. — 185 с.

Паймеева Л.Г., Гусарова И.С. Состояние зарослей *Laminaria japonica* Aresch. f. *longipes* (Miyabe et Tokida) Ju. Petr. в северном Приморье // Комаровские чтения. — 1993. — Вып. 38. — С. 20–36.

Перестенко Л.П. Водоросли залива Петра Великого : моногр. — Л. : Наука, 1980. — 232 с.

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

Перестенко Л.П. Растительность литорали и сублиторали восточной Камчатки // Бот. журн. — 1997. — Т. 82, № 2. — С. 46–55.

Перестенко Л.П. Растительность литорали и сублиторали юго-западного побережья Охотского моря и Шантарских островов // Бот. журн. — 1996. — Т. 81, № 8. — С. 13–22.

Петров К.М. Подводная растительность у берегов южного Сахалина. I. Ландшафтный подход к описанию растительности береговой // Вестн. СПбГУ. Сер. 7. Геология. География. — 2004. — Вып. 2. — С. 58–69.

Петров К.М., Поздеев В.Б. Подводные ландшафты и фитобентос у берегов южного Сахалина : моногр. — Владивосток : Изд-во ДВГУ, 1992. — 128 с.

Пищальник В.М., Бобков А.О. Океанографический атлас шельфовой зоны острова Сахалин. — Южно-Сахалинск : СахГУ, 2000. — Ч. 1. — 173 с.

Разумовский С.М. Закономерности динамики биоценозов // Труды по экологии и биогеографии (полное собрание сочинений). — М. : Тов-во науч. изд. КМК, 2011. — С. 50–272.

Ресурсы и рациональное использование морских водорослей и трав дальневосточных морей России : моногр. / под общ. ред. В.Н. Акулина. — Владивосток : ТИНРО, 2020. — 268 с.

Селиванова О.Н. Макрофиты российского шельфа Берингова моря, Командорских островов и юго-восточной Камчатки : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. — Владивосток, 2004. — 44 с.

Скарлато О.А., Голиков А.Н., Василенко С.В. и др. Состав, структура и распределение донных биоценозов в прибрежных водах залива Посыет (Японское море) // Исслед. фауны морей. — 1967. — Вып. 5(13). — С. 5–61.

Скрипцова А.В., Калита Т.Л., Набивайло Ю.В. Оценка состояния сообщества *Zostera marina* + *Sargassum* в условиях антропогенного загрязнения // Изв. ТИНРО. — 2013. — Т. 174. — С. 257–270.

Скрипцова А.В., Калита Т.Л., Сабитова Л.И. Изменение структуры сублиторальных фитоценозов в градиенте концентраций биогенных элементов в бухте Сухопутная (Уссурийский залив, Японское море) // Биол. моря. — 2018. — Т. 44, № 5. — С. 317–325. DOI: 10.1134/S0134347518050030.

Терция Ж.П., Вилнер В., Фернандес-Гонсалес Ф. и др. Международный кодекс фитоценологической номенклатуры. 4-е изд. // Растительность России. — 2022. — № 44. — С. 3–60. DOI: 10.31111/vegus/2022.44.3.

Толстикова Н.Е. Бентосные макрофиты Анадырского залива Берингова моря : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — М., 1980. — 23 с.

Фадеев В.И. Сообщества макробентоса верхней сублиторали острова Монерон // Бентос шельфа острова Монерон. — Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1985. — С. 18–40.

Щапова Т.Ф. Литоральная флора материкового побережья Японского моря // Тр. ИОАН СССР. — 1957. — Т. 23. — С. 21–66.

den Hartog C. Sea-grass communities: structure, distribution and classification // Phytocoenologia. — 2016. — Vol. 46, Iss. 4. — P. 397–414.

Mucina L., Bültmann H., Dierben K. et al. Vegetation of Europe: hierarchical floristic classification system of vascular plant, bryophyte, lichen, and algal communities // Applied Vegetation Science. — 2016. — Vol. 19. — P. 3–264.

Skriptsova A.V., Levenets I.R. Seasonal dynamics of subtidal macrophyte assemblages in Sobol Bay (Peter the Great Bay, Sea of Japan) in relation to depth // J. Mar. Biol. Assoc. U. K. — 2012. — Vol. 92, № 3. — P. 429–437.

References

Arzamastsev, I.S. and Preobrazhensky, B.V., *Atlas podvodnykh landshaftov Yaponskogo morya* (Atlas of Underwater Landscapes in the Sea of Japan), Moscow: Nauka, 1990.

Blinova, E.I., *Vodorosli-makrofity i travy dal'nevostochnykh morey Rossii (flora, rasprostraneniye, biologiya, zapasy, marikul'tura)* (Algae-macrophytes and herbs of the Far Eastern seas of Russia (flora, distribution, biology, reserves, mariculture)), Moscow: VNIRO, 2014.

Blinova, Ye.I., Main algae of the northeastern part of the Sea of Okhotsk (distribution, ecology, phytomass), *Rastitelnye Resursy*, 1971, vol. 7, no. 2, pp. 252–259.

Byvalina, T.P., Klochkova, N.G., and Fadeev, V.I., Macrophytobenthos of the sublittoral zone of western Sakhalin, in *Bentos i usloviya yego sushchestvovaniya na shel'fovykh zonakh Sakhalina* (Benthos and the conditions of its existence on the shelf zones of Sakhalin), Vladivostok: Far Eastern Scientific Center, 1985, pp. 27–42.

Vozzhinskaya, V.B. and Blinova, E.I., Materials on the distribution and composition of algae in Kamchatka (Sea of Okhotsk), *Tr. Inst. Okeanol. im. P.P. Shirshova, Akad. Nauk SSSR*, 1970, vol. 88, pp. 298–307.

Volvenko, I.V., Adaptive zone, Petersen-type communities, geographical range and ecological niche. Report 1. Definitions and relations of the concepts, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2018, vol. 195, pp. 3–27. doi 10.26428/1606-9919-2018-195-3-27

Golikov, A.N., Skarlato, O.A., and Tabunkov, V.D., Some biocenoses of the upper parts of the southern Sakhalin shelf and their distribution, in *Biotsenozy i fauna shel'fa yuzhnogo Sakhalina* (Biocenoses and fauna of the southern Sakhalin shelf), Leningrad: Nauka, 1985, pp. 4–68 (Research on the fauna of the seas; vol. 30(38).)

Gusarova, I.S., Deep-water vegetation of northern Primorye, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2010, vol. 160, pp. 118–127.

Gusarova, I.S., Sublittoral vegetation and its seasonal dynamics in one of the bays of the north-western part of the Sea of Japan, in *Gidrobiologicheskoye issledovaniya zalivov i bukht Primor'ya* (Hydrobiological studies of the bays and bays of Primorye), Vladivostok: Dal'nevost. Nauchn. Tsentr, Akad. Nauk SSSR, 1984, pp. 12–27.

Gusarova, I.S., Kolkpakov, N.V., Kulepanov, V.N., Distribution of bottom vegetation and fishes along the coast of Reineke Island (Peter the Great Bay) in summer, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2012, vol. 171, pp. 26–39.

Gusarova, I.S., Sukhoveeva, M.V., and Dulenin, A.A., Annotated list of sea-weed-macrophytes of the north-western part of Tatar Strait, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2002, vol. 131, pp. 327–339.

Gusarova, I.S., Sukhoveeva, M.V., and Zhmakin, A.F., Algae-macrophytes, in *Gidrometeorologiya i gidrokimiya morei. T. 9: Okhotskoye more* (Hydrometeorology and Hydrochemistry of Seas, vol. 9: Sea of Okhotsk), St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 1993, iss. 2, pp. 145–154.

Dal'nevostochnyy morskoy biosfernyy zapovednik. Biota. T. 2. (Far Eastern Marine Biosphere Reserve. Biota. Vol. 2), Tyurin, A.N., Vladivostok: Dalnauka, 2004.

Dulenin, A.A., On the identification of marine bottom macrophyte associations in the northwestern Tatar Strait, *Voprosy sovremennoi algologii*, 2021, no. 3(27), pp. 1–17. doi 10.33624/2311-0147-2021-3(27)-1-17

Dulenin, A.A., Distribution of macrophytobenthos in the sublittoral zone of the northwestern part of the Tatar Strait, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Vladivostok, 2008.

Dulenin, A.A., Characteristics of sublittoral vegetation in the northwestern Okhotsk Sea based on the concept of adaptive zone, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2023, vol. 203, no. 4, pp. 822–851. doi 10.26428/1606-9919-2023-203-822-851. EDN: DYQMYG.

Dulenin, A.A. and Gusarova, I.S., Latitudinal variations in the composition and structure of vegetation in the northwestern Tatar Strait, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2016, vol. 42, no. 4, pp. 299–307.

Dulenin, A.A., Sviridov, V.V., and Kharitonov, A.V., Methodological features of photo and video filming using underwater robots engaged in research in long-distance coastal areas, in *Dokl. 2-y Vseross. nauch. konf., posvyashch. 90-letiyu KamchatNIRO "Vodnye biologicheskie resursy Rossii: sostoyanie, monitoring, upravlenie"* (Proc. 2nd All-Russ. Sci. Conf., Commem. 90th anniversary of KamchatNIRO), Petropavlovsk-Kamchatskiy: KamchatNIRO, 2022, pp. 54–61.

Yevseyeva, N.V., Macrophytobenthos of the coastal zone of the southern Kuril Islands, *Biologiya, sostoyaniye zapasov i usloviya obitaniya gidrobiontov v Sakhalino-Kuril'skom regione i sopredel'nykh akvatoriakh* (Biology, Status of Stocks, and Condition of Habitat of Aquatic Organisms in the Sakhalin-Kuril Region and Adjacent Waters), *Tr. Sakhalin. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2007, vol. 9, pp. 125–145.

Blinova, E.I., Vilkova, O.Yu., Milyutin, D.M., Pronina, O.A., and Shtrik, V.A., Study of ecosystems of fishery waterbodies, collection and processing of data on aquatic biological resources, equipment and technology of their harvesting and processing, in *Metody landshaftnykh issledovaniy i otsenki zapasov donnykh bespozvonochnykh i vodoroslei morskoi pribrezhnoi zony* (Methods of Landscape Studies and Assessment of Stocks of Benthic Invertebrates and Algae in the Marine Coastal Zone), Moscow: VNIRO, 2005, vol. 3.

Kalita, T.L. and Skriptsova, A.V., The current state of the *Zostera marina* + *Stephanocystis crassipes* community in the Eastern Bosphorus Strait, sea of Japan, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2018, vol. 44, no. 1, pp. 26–35.

Kalita, T.L. and Skriptsova, A.V., The current state of subtidal macrophyte communities of Ussuriysky and Amursky Bays, Sea of Japan, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2014, vol. 40, no. 6, pp. 418–425. doi 10.1134/S1063074014060157

Kashenko, N.V., Species composition and quantitative indicators of macrophytes on the littoral and upper subtidal islands of Furugelm (Peter the Great Bay, Sea of Japan), *Russ. J. Mar. Biol.*, 2002, vol. 28, no. 3, pp. 181–186.

Kashenko, N.V., Bottom macrophyte communities of Vostok Bay, Sea of Japan, *Russ. J. Mar. Biol.*, 1999, vol. 25, no. 5, pp. 360–364.

Klochkova, N.G., *Flora vodorosley-makrofitov Tatarskogo proliva i osobennosti yeye formirovaniya* (Flora of algae-macrophytes of the Tatar Strait and features of its formation), Vladivostok: Dal'nauka, 1996.

Mirkin, B.M., Rosenberg, G.S., and Naumova, L.G., *Slovar' ponyatiy i terminov sovremennoy fitotsenologii* (Glossary of concepts and terms of modern phytocenology), Moscow: Nauka, 1989.

Paymeeva, L.G., Biology of *Zostera marina* L. and *Zostera asiatica* Miki of Primorye, *Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Vladivostok: Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr., 1984.

Paimeeva, L.G. and Gusarova, I.S., The status of beds of *Laminaria japonica* Aresch. f. longipes (Miyabe et Tokida) Ju. Petr. in northern Primorsky Krai, *Komarovskiye Chteniya*, 1993, vol. 38, pp. 20–36.

Perestenko, L.P., *Vodorosli zaliva Petra Velikogo* (Seaweeds of Peter the Great Bay), Leningrad: Nauka, 1980.

Perestenko, L.P., *Krasnyye vodorosli dal'nevostochnykh morey Rossii* (Red algae of the Russian Far Eastern seas), St. Petersburg: Ol'ga, 1994.

Perestenko, L.P., Vegetation of the littoral and sublittoral of eastern Kamchatka, *Bot. zhurn.*, 1997, vol. 82, no. 2, pp. 46–55.

Perestenko, L.P., Vegetation of the littoral and sublittoral zones of the southwestern coast of the Sea of Okhotsk and the Shantar Islands, *Bot. zhurn.*, 1996, vol. 81, no. 8, pp. 13–22.

Petrov, K.M., Underwater vegetation at the coastal zone of Sakhalin Island. I. landscape approach to investigation of coastal zone vegetation, *Vestn. S.-Peterb. Univ., Ser. 7: Geologiya. Geografiya*, 2004, no. 2, pp. 58–69.

Petrov, K.M. and Pozdeev, V.B., *Podvodnyye landshafty i fitobentos u beregov yuzhnogo Sakhalina* (Underwater landscapes and phytobenthos off the coast of southern Sakhalin), Vladivostok: Dal'nevost. Gos. Univ., 1992.

Pischalnik, V.M. and Bobkov, A.O., *Okeanograficheskiy atlas shel'fovoy zony ostrova Sakhalin* (Oceanographic atlas of the offshore zone of Sakhalin Island), Yuzhno-Sakhalinsk: Sakhalin. Gos. Univ., 2000, part 1.

Razumovsky, S.M., Patterns of dynamics of biocenoses, in *Trudy po ekologii i biogeografii (polnoye sobraniye sochineniy)* (Works on ecology and biogeography (complete works)), Moscow: KMK, 2011, pp. 50–272.

Resursy i ratsional'noye ispol'zovaniye morskikh vodorosley i trav dal'nevostochnykh morey Rossii (Resources and rational use of seaweeds and grasses of the Far Eastern seas of Russia), Akulin, V.N., ed., Vladivostok: TINRO, 2020.

Selivanova, O.N., Macrophytes of the Russian shelf of the Bering Sea, the Commander Islands and south-eastern Kamchatka, *Extended Abstract of Doctoral (Biol.) Dissertation*, Vladivostok, 2004.

Skarlato, O.A., Golikov, A.N., Vasilenko, S.V., Tsvetkova, N.L., Gruzov, Ye.N., and Nesis, K.N., Composition, structure and distribution of bottom biocenoses in the coastal waters of Posyet Bay (Sea of Japan), *Issl. fauny morey*, 1967, vol. 5, no. 13, pp. 5–61.

Skriptsova, A.V., Kalita, T.L., and Nabivailo, Yu.V., Evaluation of state of the community *Zostera marina* + *Sargassum* in conditions of anthropogenic pollution, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2013, vol. 174, pp. 257–270.

Skriptsova, A.V., Kalita, T.L., and Sabitova, L.I., Changes in the structure of the subtidal phytocoenosis along the gradient of the concentrations of biogenic elements in the Sukhoputnaya Bay (Ussuriisky Bay, Sea of Japan), *Russ. J. Mar. Biol.*, 2018, vol. 44, no. 5, pp. 373–382. doi 10.1134/S1063074018050115

Theurillat, J.-P., Willner, W., Fernández-González, F., Bültmann, H., Čarni, A., Gigante, D., Mucina, L., and Weber, H.E., International Code of Phytosociological Nomenclature, 4th ed., *Applied Vegetation Science*, 2021, vol. 24, iss. 1, e12491. doi 10.1111/avsc.12491

Tolstikova, N.Ye., Benthic macrophytes of the Anadyr Bay of the Bering Sea, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Moscow, 1980.

Fadeyev, V.I., Communities of macrophytobenthos of the upper sublittoral of Moneron Island, in *Bentos shel'fa ostrova Moneron* (Benthos of the Moneron Island shelf), Vladivostok: Dal'nevost. Nauchn. Tsentr, Akad. Nauk SSSR, 1985, pp. 18–40.

Shchapova, T.F., Littoral flora of the continental coast of the Sea of Japan, *Tr. Inst. Okeanol. im. P.P. Shirshova, Akad. Nauk SSSR*, 1957, vol. 23, pp. 21–66.

den Hartog, C., Sea-grass communities: structure, distribution and classification, *Phytocoenologia*, 2016, vol. 46, Iss. 4, pp. 397–414.

Mucina, L., Bültmann, H., Dierben, K., Theurillat, J.-P., Raus, Th., Carni, A., Sumberova, K., Wolfgang, W., Dengler, J., Garia, R.G., Chytry, M., Hajek, M., Pietro, R.D., Iakushenko, D., Pallas, J., Daniels, F.J.A., Bergmeier, E., Guerra, A.S., Ermakov, N., Valachovic, M., Schaminee, J.H.J., Lysenko, T., Didukh, Y.P., Pignatti, S., Rodwell, J.S., Capelo, J., Weber, H.E., Solomeshch, A., Dimopoulos, P., Aguiar, C., Hennekens S.M., and Tichy, L., Vegetation of Europe: hierarchical floristic classification system of vascular plant, bryophyte, lichen, and algal communities, *Applied Vegetation Science*, 2016, vol. 19, pp. 3–264.

Skriptsova, A.V. and Levenets, I.R., Seasonal dynamics of subtidal macrophyte assemblages in Sobol Bay (Peter the Great Bay, Sea of Japan) in relation to depth, *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.*, 2012, vol. 92, no. 3, pp. 429–437.

Lotsiya Tatarskogo proliva, Amurskogo limana i proliva Laperuza (Pilotage of the Tatar Strait, Amur estuary and La Perouse Strait), St. Petersburg: GUNIO MO RF, 2003, pp. 10–193.

Hammer, Ø., *PAST: Paleontological statistics. Version 4.16. Reference manual*, Oslo: Natural History Museum. Univ. of Oslo, 1999–2024.

Поступила в редакцию 23.04.2024 г.

После доработки 2.07.2024 г.

Принята к публикации 13.09.2024 г.

The article was submitted 23.04.2024; approved after reviewing 2.07.2024; accepted for publication 13.09.2024

Научная статья

УДК 574.524(268.52)

DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-548-567

EDN: QCIGEN



ДОННО-ПЕЛАГИЧЕСКИЕ СВЯЗИ ГИДРОБИОНТОВ В КАРСКОМ МОРЕ ПО ДАННЫМ $\delta^{15}\text{N}$ И $\delta^{13}\text{C}$ И ПИТАНИЯ РЫБ

К.М. Горбатенко, И.В. Мельников*

Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

Аннотация. Для сравнения трофических характеристик в пелагических и донных сообществах в тканях рыб, а также у зоопланктона и зообентоса в Карском море был изучен изотопный состав углерода и азота ($\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$). На исследованной акватории у гидробионтов наблюдаются относительно низкие значения $\delta^{13}\text{C}$. На основании устойчивых различий в изотопном составе углерода между зоопланктоном и зообентосом граница между пелагическим и донным сообществами соответствует среднему содержанию $\delta^{13}\text{C}$ $-21,5$ ‰. Значения $\delta^{15}\text{N}$ проанализированных гидробионтов в пелагическом и донном сообществах варьировали в диапазоне от 6,4 (у двустворчатых моллюсков *Serripes groenlandicus*) до 16,3 ‰ (у ликода *Lycodes seminudus*) и занимали 3 трофических уровня, отражая элемент хищничества. Трофические связи в Карском море демонстрируют высокую степень взаимозависимости донного и пелагического сообществ, поскольку пелагические и донные рыбы в той или иной степени являются потребителями как донной, так и пелагической пищи. Содержание изотопа углерода ^{13}C в тканях и исследования питания рыб показали, что около 40 % рассмотренных видов донного нектона в основном замыкаются на пелагическую пищевую сеть, обходя традиционную глубоководную. У пелагических рыб основу питания составляют пелагические объекты, хотя у доминирующего вида нектона — сайки — с увеличением размеров возрастает доля зообентоса, а у камбалы-ерша — уменьшается.

Ключевые слова: Карское море, гидробионты, зоопланктон, зообентос, нектон, кормовые организмы, стабильные изотопы, азот, углерод, трофический статус

Для цитирования: Горбатенко К.М., Мельников И.В. Донно-пелагические связи гидробионтов в Карском море по данным $\delta^{15}\text{N}$ и $\delta^{13}\text{C}$ и питания рыб // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 3. — С. 548–567. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-000-000. EDN: QCIGEN.

* Горбатенко Константин Михайлович, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, konstantin.gorbatenko@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0003-8385-7770; Мельников Игорь Владимирович, кандидат биологических наук, заместитель руководителя филиала, igor.melnikov@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-2327-2979.

© Горбатенко К.М., Мельников И.В., 2024

Bottom-pelagic links of hydrobionts in the Kara Sea according to data on $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ and feeding of fish

K.M. Gorbatenko*, I.V. Melnikov**

*, ** Pacific branch of VNIRO (TINRO), 4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia

* D.Biol., principal researcher, konstantin.gorbatenko@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0003-8385-7770

** Ph.D., deputy head, igor.melnikov@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-2327-2979

Abstract. To compare trophic properties in pelagic and benthic communities of the Kara Sea, isotopic composition of carbon and nitrogen ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) was examined in tissues of zooplankton, zoobenthos, and fish. The organisms exhibited rather low $\delta^{13}\text{C}$ values in the surveyed area. Because of stable difference in isotopic composition of carbon for zooplankton and zoobenthos, the pelagic and benthic communities could be separated by the level $\delta^{13}\text{C} = -21.5$ ‰, on average. The $\delta^{15}\text{N}$ values for these communities varied within their 3 trophic levels in the range from 6.4 ‰ (for bivalve *Serripes groenlandicus*) to 16.3 ‰ (for lycod *Lycodes seminudus*), reflecting the input of predation. The bottom and pelagic communities in the Kara Sea demonstrated trophic interdependence. Both pelagic and bottom fish species, more or less, consumed both pelagic and benthic prey. Taking into account the content of ^{13}C isotope in tissues of zooplankton and zoobenthos, about 40 % of the bottom nekton species were linked mainly with the pelagic food web and bypassed the benthic one. Pelagic fish fed mainly on pelagic prey, though the portion of zoobenthos in food of the dominant species — arctic cod had increased with the fish size increasing. On the contrary, the portion of zoobenthos in food of ruffed flounder had decreases with their size.

Keywords: Kara Sea, hydrobiont, zooplankton, zoobenthos, nekton, prey, stable isotope, nitrogen, carbon, trophic status

For citation: Gorbatenko K.M., Melnikov I.V. Bottom-pelagic links of hydrobionts in the Kara Sea according to data on $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ and feeding of fish, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 3, pp. 548–567. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-548-567. EDN: QCIGEH.

Введение

В 2000-е гг. в высокоширотной полярной области наблюдается экстремальное повышение температуры воздуха и температуры поступающих атлантических и тихоокеанских вод, что, несомненно, приводит к увеличению продукции в пелагических и донных сообществах арктических морей. Постепенно происходит увеличение миграций тихоокеанских и атлантических видов гидробионтов в арктические моря. В связи с этим необходимы трофодинамические исследования в экосистемах данного региона для определения адаптации мигрантов в новых районах и включения их в трофические связи в пелагических и донных сообществах.

Данные об изотопном составе гидробионтов широко используются в экологии для выяснения трофических связей организмов. Как показали предыдущие исследования [Hobson, Welch, 1992; Post, 2002; Jackson et al., 2011], анализ изотопного состава углерода и азота гидробионтов является одним из успешных подходов при изучении структуры и функционирования пелагических и донных сообществ, в том числе в арктических морях. Данные изотопного анализа позволяют определить не только источник органического вещества и трофическую структуру, но и оценить межвидовые и внутривидовые различия трофического статуса. Использование изотопного подхода для изучения трофодинамики пелагических и донных сообществ в арктических морях весьма актуально в свете исследований в Арктике, проведенных в последние годы [Iken et al., 2010; Barton et al., 2017; и др.].

Цель работы — определение трофического статуса доминирующих видов гидробионтов в пелагическом и донном сообществах и выявление донно-пелагических связей в Карском море по данным стабильных изотопов углерода и азота.

Материалы и методы

В Карском море основные работы проводились повсеместно, за исключением северной глубоководной части, в диапазоне глубин от 18 до 511 м, в период с 15 по 29.09.2019 г. Основные сборы проб производились на внешнем шельфе (глубина — 100–200 м) и сваловой зоне (глубина — более 200 м) северной и западной частей моря (рис. 1). Сбор и первичная обработка проб осуществлялись на НИС «Профессор Леванидов» по арктической программе ВНИРО. Из исследуемых образцов путем экстракции была удалена липидная фракция, чтобы исключить влияние липидов при интерпретации межвидовых вариаций $\delta^{13}\text{C}$ зоопланктона. Для получения корректных значений $\delta^{13}\text{C}$ образцов планктонных крылоногих моллюсков *Limacina helicina* и бентосных животных, содержавших фрагменты карбонатных раковин с изотопно-тяжелым углеродом, проводили повторный анализ изотопного состава углерода после обработки проб 10 %-ным раствором HCl в серебряных капсулах (EuroVector®) по методу Ящинской с соавторами [Jaschinski et al., 2008].

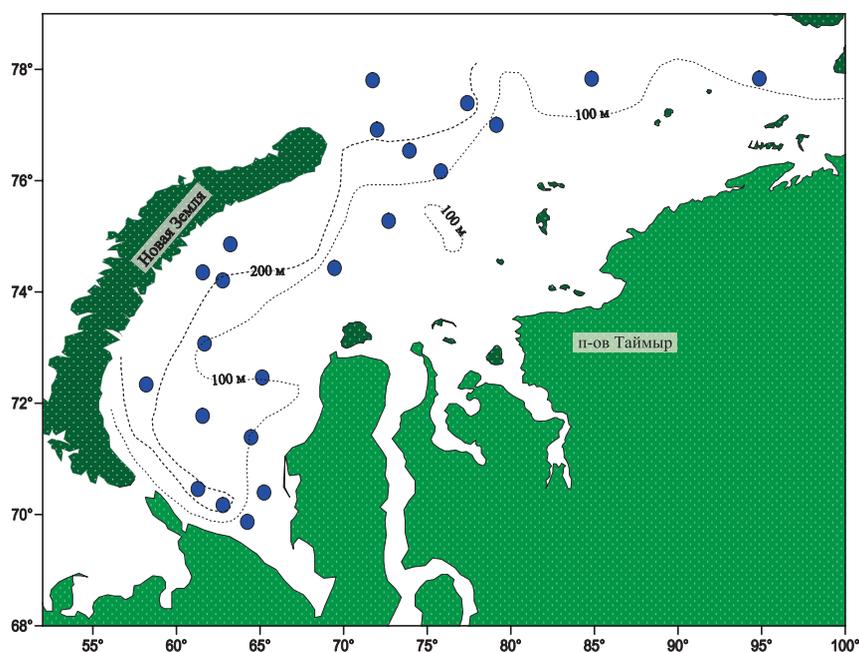


Рис. 1. Схема взятия проб на изотопный состав гидробионтов в Карском море в летний период 2019 г.: пунктирные линии — изобаты

Fig. 1. Scheme of sampling for isotope composition in tissues of marine organisms in the Kara Sea in summer 2019. Dashed lines — isobaths

Изотопные анализы выполнены в лаборатории стабильных изотопов Дальневосточного геологического института ДВО РАН. В задачу исследования входило масс-спектрометрическое определение природных соотношений стабильных изотопов азота $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ (выражаемое как $\delta^{15}\text{N}$) и углерода $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ (выражаемое как $\delta^{13}\text{C}$) в образцах мягких тканей отдельных видов гидробионтов, которые были собраны в Карском море.

В работе представлены результаты исследования состава стабильных изотопов углерода ($\delta^{13}\text{C}$) и азота ($\delta^{15}\text{N}$) в органическом веществе 76 образцов у 50 видов гидробионтов (табл. 1).

Данные об изотопном составе образцов были получены методом прецизионной изотопной масс-спектрометрии с использованием аналитической системы, состоящей из элементного анализатора органического вещества Flash 2000, соединенного интерфейсом ConFlo-IV с прецизионным изотопным масс-спектрометром MAT-253 (Термоквест, Германия). Относительное содержание изотопов ^{13}C и ^{15}N в образцах

Таблица 1

Количество проб и видов, взятых на изотопный анализ в Карском море в период с 15 по 29 сентября 2019 г.

Table 1

Number of collected samples and sampled species for isotope analysis of tissues in the Kara Sea on September 15–29, 2019

Сообщество	Кол-во проб	Кол-во видов
Зоопланктон	14	10
Зообентос	31	26
Пелагический нектон	10	3
Донный нектон	21	11
Всего	76	50

определяли в общепринятой форме как величины отклонений $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ в промилле от соответствующего международного стандарта изотопного состава:

$$\delta X (\text{‰}) = [(R_{\text{образца}} - R_{\text{стандарта}}) / R_{\text{стандарта}}] \cdot 1000,$$

где δX — величины $\delta^{13}\text{C}$ или $\delta^{15}\text{N}$, а R — отношения соответственно $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ или $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$.

Результаты масс-спектрометрических измерений были калиброваны с помощью международных изотопных стандартов (Международное агентство по атомной энергии, Вена). Воспроизводимость результатов измерений соотношений стабильных изотопов для данной серии образцов составляла $\pm 0,10 \text{‰}$ для величин $\delta^{15}\text{N}$ и $\pm 0,08 \text{‰}$ для величин $\delta^{13}\text{C}$.

Реальный трофический уровень консумента, занимаемый тем или иным видом в пищевых сетях водных экосистем, определяли по изотопному составу азота [Post, 2002]:

$$\text{TU}_k = \lambda + (\delta^{15}\text{N}_k - \delta^{15}\text{N}_b) / \Delta,$$

где TU_k — трофический уровень консумента; $\delta^{15}\text{N}_k$ — изотопный состав азота консумента; $\delta^{15}\text{N}_b$ — изотопный состав азота организмов, принимаемых за основание данной пищевой цепи (первичных продуцентов или первичных консументов); Δ — величина изменения изотопного состава на одном трофическом уровне, общепринятым индикатором обогащения $\delta^{15}\text{N}$ на каждом трофическом уровне консументов в пищевой цепи составляет $3,4 \text{‰}$ [Post, 2002]; λ — значение трофического уровня организмов, принимаемых за основание пищевой цепи (1 — для первичных продуцентов или 2 — для первичных консументов). Ввиду отсутствия прямых измерений изотопного состава продуцентов за основание данной пищевой цепи приняты двустворчатые моллюски — фильтрующие сестонофаги *Serripes groenlandicus*, поскольку среди исследованных видов консументов они имели наименьшие значения $\delta^{15}\text{N}$ ($6,4 \text{‰}$) и с наибольшей вероятностью могут считаться консументами первого порядка.

Результаты и их обсуждение

Для определения трофических связей гидробионтов было определено содержание $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ у 10 массовых видов планктона, бентоса, пелагического и донного нектона, составляющих основу пелагических и донных сообществ Карского моря (табл. 2).

Следует отметить, что ввиду отсутствия прямых измерений изотопного состава продуцентов за основание пищевой цепи следует принимать консументы 1-го порядка. Самые низкие значения $\delta^{15}\text{N}$ в пелагиали были отмечены у личинок краба-стригуна опилио *Zoea Chionoecetes opilio* ($8,0 \text{‰}$), в зообентосе — у фильтрующих сестонофагов *S. groenlandicus* $\delta^{15}\text{N}$ — $6,4 \text{‰}$. Поскольку среди исследованных видов консументов *S. groenlandicus* имеют наименьшие значения $\delta^{15}\text{N}$ с наибольшей вероятностью они могут быть отнесены к консументам 1-го порядка. Принимая значение $\delta^{15}\text{N}$, равное $6,4 \text{‰}$,

Таблица 2

Пределные значения стабильных изотопов углерода и азота гидробионтов в Карском море
Table 2
Limits for isotopic composition of carbon and nitrogen in tissues of marine organisms in the Kara Sea

Сообщество	$\delta^{13}\text{C}$		$\delta^{15}\text{N}$	
	Min	Max	Min	Max
Зоопланктон	-22,9	-21,8	8,0	12,9
Зообентос	-22,5	-18,1	6,4	15,4
Пелагический нектон	-22,7	-21,6	11,0	14,1
Донный нектон	-21,8	-20,2	11,9	16,3
По морю	-22,9	-18,1	6,4	16,3

за изотопную характеристику консументов 1-го порядка в экосистеме Карского моря с некоторыми допущениями, можно оценить по величинам $\delta^{15}\text{N}$ [Post, 2002] трофический статус исследованных гидробионтов.

Зоопланктон. Основу биомассы зоопланктона в Карском море летом составляли копеподы — 58,5 %, эвфаузииды — 15,6 и сагитты — 13,7 % (табл. 3).

Таблица 3

Биомасса (mg/m^3) и доля (%) доминирующих групп сетного зоопланктона в Карском море в сентябре 2019 г. Слой 200–0 м (дно — 0 м)

Table 3

Biomass (mg/m^3) and percentage of dominant groups for net zooplankton in the upper layer (200–0 m or bottom — 0 m) of Kara Sea in September 2019

Группа зоопланктона	Биомасса	Доля
Копеподы	108,9	58,5
Эвфаузииды	29,0	15,6
Гиперииды	4,1	2,2
Сагитты	25,5	13,7
Птероподы	2,6	1,4
Медузы	9,9	5,3
Прочие	6,1	3,3
Весь зоопланктон	186,1	100
Кол-во станций	48	

Наши исследования в 2019 г. [Орлов и др., 2020] показали, что основу биомассы копепод составляли 4 вида — *Calanus finmarchicus*, *C. glacialis*, *C. hyperboreus* и *Metridia longa*, доля которых в сетном планктоне была 49,2 % по массе. На изотопный анализ из копепод мы брали осредненную пробу из доминирующих 4 видов — *Copepoda* gen. sp. (табл. 4).

Состав стабильных изотопов углерода и азота был исследован у 4 таксономических групп зоопланктона (табл. 4). Минимальные значения $\delta^{15}\text{N}$ имеют личинки краба-стригуна опилио *Zoea Ch. opilio* — 8,0 ‰ (ТУк — 2,5), а максимальные — хищные сагитты *Parasagitta elegans* — 12,9 ‰ (ТУк — 3,9). Более высокие значения $\delta^{15}\text{N}$ также у хищных крупных гипериид, мизид и медуз, которые являются консументами 2-го порядка и находятся на III трофическом уровне (ТУк — 3,1–3,5).

Изотопный состав углерода у всего зоопланктона показал относительно низкие значения $\delta^{13}\text{C}$, которые изменялись в узких пределах (табл. 4). Минимальные значения $\delta^{13}\text{C}$ принадлежат пелагической мизиде *Mysidacea* gen. sp. (-22,9 ‰), а наиболее высокие — крупным гипериидам *Themisto libellula* (-21,8 ‰). Малый размах вариаций изотопных показателей $\delta^{13}\text{C}$ (1,1 ‰) у образцов зоопланктона, собранных в основном в северо-западной части, указывает на доминирование одной водной массы в точках сбора проб зоопланктона (рис. 1).

Эколого-трофологическая характеристика и изотопный состав пелагического зоопланктона Карского моря

Ecological and trophological characteristics and isotope composition for pelagic zooplankton in the Kara Sea

Состав зоопланктона	Тп	$\delta^{13}\text{C}$	$\pm\text{SE}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\pm\text{SE}$	ТУк	n
Copepoda		-22,7	0,7	9,3	0,1	2,8	2
Copepoda gen. sp.	Ф ¹	-22,7	0,7	9,3	0,1	2,8	2
Euphausiacea		-22,2	0,3	9,6	0,2	2,9	3
<i>Thysanoessa inermis</i>	Ф ²	-22,6		9,3		2,9	1
<i>Thysanoessa raschii</i>	Ф-Х ²	-21,9	0,1	9,8	0,5	3,0	2
Hyperidea		-21,8	0,0	10,0	0,2	3,1	3
<i>Themisto abyssorum</i>	ХВ ³	-21,9	0,1	9,8	0,4	3,0	2
<i>Themisto libellula</i>	ХВ ³	-21,8		10,1		3,1	1
Chaetognatha		-21,9	0,0	12,9	0,7	3,9	2
<i>Parasagitta elegans</i>	Х ⁴	-21,9	0,0	12,9	0,7	3,9	2
Mysidacea		-22,9		10,5		3,2	1
Mysidacea gen. sp.	СМ ⁵	-22,9		10,5		3,2	1
Cnidaria		-22,5	0,4	10,9	0,6	3,3	2
Cyanea gen. sp.	Х ⁵	-22,8		10,3		3,2	1
<i>Euphysa flammea</i>	Х ⁵	-22,1		11,5		3,5	1
Decapoda		-21,8		8,0		2,5	1
<i>Zoea Ch. opilio</i>	Ф ²	-21,8		8,0		2,5	1

Примечание. Здесь и далее: Тп — тип питания, Ф — фитофаги, Х — хищники, ХВ — хвататели плотоядные, СМ — смешанное питание; ТУк — реальный трофический уровень, рассчитанный по Посту [Post, 2002]; n — количество проб; Copepoda gen. sp. — *C. finmarchicus* + *C. glacialis* + *C. hyperboreus* + *M. longa*.

¹ Е.Г. Арашкевич [1969]; ² Л.А. Пономарева [1955]; ³ В.Л. Гутельмахер с соавторами [1988]; ⁴ О.В. Косихина, [1982]; ⁵ К.М. Горбатенко с соавторами [2005].

Зообентос. По результатам гидробиологических работ в 2019 г. основу тралового зообентоса в Карском море среди беспозвоночных по биомассе занимал краб-стригун опилио *Ch. opilio*. Второе место — иглокожие, главным образом офиуры, морские звезды и голотурии. Следующей доминирующей по биомассе группой на исследованной акватории были ракообразные, преимущественно различные виды креветок.

Соотношение стабильных изотопов $\delta^{15}\text{N}$ и $\delta^{13}\text{C}$ у 27 исследованных видов из 13 таксономических групп бентосных беспозвоночных изменяется в широких пределах, что подтверждает разнообразие состава их рациона. Диапазон значений $\delta^{15}\text{N}$ варьирует в пределах 6,4–15,4 ‰, а ТУк — 2,0–4,6 (табл. 5).

Минимальные значения $\delta^{15}\text{N}$ имеет двустворчатый моллюск *S. groenlandicus* — 6,4 ‰, а максимальные — морская звезда *Crossaster papposus* — 15,4 ‰ (табл. 5). Размах вариаций значений $\delta^{15}\text{N}$ составляет 8,9 ‰, т.е. более 2 трофических уровней, тем самым подтверждая разнообразие состава рационов у донных беспозвоночных. Диапазон значений $\delta^{13}\text{C}$ донных беспозвоночных изменялся от -22,5 (офиуры и мшанки) до -18,1 ‰ (северная креветка).

Минимальные значения $\delta^{13}\text{C}$ (-22,5 ‰) наблюдаются у безвыборочных детритофагов — офиур *Ophiacantha bidentata* и фильтраторов-мшанок *Alcyonidium disciforme*, выловленных в глубоководной части моря. Высокое насыщение тяжелым азотом ^{15}N у северных креветок показывает, что основу их питания в Карском море составляли донные организмы.

Двустворчатые моллюски (Bivalvia). Изотопный состав азота у 5 представленных видов изменялся от 6,4 до 9,7 ‰, а по способу питания они относятся к четырем группам. Минимальные значения имеют фильтрующие сестонофаги — *S. groenlandicus* ($\delta^{15}\text{N}$ — 6,4 ‰), максимальные — подвижные сестонофаги *Tridonta borealis* ($\delta^{15}\text{N}$ —

Эколого-трофологическая характеристика и изотопный состав доминирующих видов макробентоса Карского моря

Table 5

Ecological and trophological characteristics and isotope composition for the dominant species of macrobenthos in the Kara Sea

Состав макробентоса	Эк	Тп	$\delta^{13}\text{C}$	$\pm\text{SE}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\pm\text{SE}$	ТУк	n
Anthozoa								
Actiniaria			-19,2		14,9		4,5	1
<i>Hormathia digitata</i>	Д	П ¹	-19,2		14,9		4,5	1
Alcyonacea			-21,4		11,3		3,4	1
<i>Gersemia rubiformis</i>	Д	П	-21,4		11,3		3,4	1
Pennatulacea			-21,1		13,2		4,0	1
<i>Umbellula encrinus</i>	Д	П	-21,1		13,2		4,0	1
Gastropoda			-20,4		12,5		3,8	1
<i>Colus sabini</i>	Д	П	-20,4		12,5		3,8	1
Bivalvia			-21,1	0,2	7,7	0,5	2,4	6
<i>S. groenlandicus</i>	Д	ФС ²	-21,5		6,4		2,0	1
<i>Musculus niger</i>	Д	НС ²	-21,5		7,0		2,2	1
<i>Mytilus edulis</i>	Д	НС ²	-20,7		7,6		2,4	1
<i>Hiatella arctica</i>	Д	СД ²	-20,9		7,8		2,4	1
<i>Tridonta borealis</i>	Д	ПС ^{3,4}	-20,7	1,1	9,7	1,6	3,0	2
Echinoidermata								
Asteroidea			-19,3	0,4	13,1	1,2	4,0	4
<i>Ctenodiscus crispatus</i>	Д	БД ^{5,6}	-18,8		9,8		3,0	1
<i>Icasterias panopla</i>	Д	П ⁷	-20,0		13,0		3,9	1
<i>Urasterias lincki</i>	Д	П ⁷	-20,0		14,5		4,4	1
<i>Crossaster papposus</i>	Д	П	-18,6		15,4		4,6	1
Holothuroidea			-21,4	0,2	12,2	0,4	3,7	2
<i>Myriotrochus rinkii</i>	Д	БД	-21,4	0,2	12,2	0,4	3,7	2
Ophiuroidea			-22,5		12,8		3,9	1
<i>Ophiacantha bidentata</i>	Д	БД	-22,5		12,8		3,9	1
Bryozoa			-22,5		9,2		2,8	1
<i>Alcyonidium disciforme</i>	Д	ФС	-22,5		9,2		2,8	1
Polychaeta			-20,8	0,3	11,1	0,7	3,4	6
<i>Eunicidae gen. sp.</i>	Д	ФС ⁸	-21,9		8,2		2,5	1
<i>Sabellidae gen. sp.</i>	Д	ФС ⁸	-21,1		9,9		3,0	1
<i>Onuphidae gen. sp.</i>	Д	ПС ⁹	-20,6		11,4		3,5	1
<i>Spiochaetopterus typicus</i>	Д	ФС ⁸ , СД ¹⁰	-21,4		11,8		3,6	1
<i>Maldanidae gen. sp.</i>	Д	БД	-19,9		12,3		3,7	1
<i>Nepthyidae gen. sp.</i>	Д	П	-19,9		13,0		3,9	1
Decapoda								
Brachiura			-18,3	0,4	14,3	0,6	4,3	3
<i>Chionoecetes opilio</i>	Д	П ^{11,12}	-18,3	0,4	14,3	0,6	4,3	3
<i>Ova Chionoecetes opilio</i>			-20,8		11,0		3,4	1
Caridea			-18,5	0,4	14,0	0,9	4,2	2
<i>Sabinea septemcarinata</i>	П	П	-18,9		13,2		4,0	1
<i>Pandalus borealis</i>	ПД	П ¹³	-18,1		14,9		4,5	1
Penaeidea			-21,8		8,6		2,6	1
<i>Eusergestes arcticus</i>	БП	П	-21,8		8,6		2,6	1

Примечание. Эк — экологическая характеристика вида: П — пелагический, Д — донный; ПД — придонный, БП — бентопелагический; Тп: П — плотоядные, СД — собирающие детритофаги, БД — безвыборочные детритофаги, НС — неподвижные сестонофаги, ФС — фильтрующие сестонофаги, ПС — подвижные сестонофаги.

¹ Атлас... [2010a]; ² О.А. Скарлато [1981]; ³ Е.П. Турпаева [1953]; ⁴ Е.А. Цихон-Луканина [1987]; ⁵ Carey [1972]; ⁶ Атлас... [2010b]; ⁷ В.А. Догель [1981]; ⁸ Fauchald and Jumars [1979]; ⁹ Howell с соавторами [2003]; ¹⁰ Barnes [1965]; ¹¹ В.И. Чучукало [2006]; ¹² В.А. Надточий с соавторами [2001]; ¹³ В.И. Чучукало, М.А. Шебанова [2003].

9,7 ‰), трофический уровень изменялся от II до III. Сходные данные по значениям изотопов для близких видов двустворчатых моллюсков получены в Охотском море [Горбатенко, 2018] и для моря Баффина Северного Ледовитого океана [Hobson et al., 2002].

Морские звезды (Asteroidea) представлены 4 видами (табл. 5). По типу питания и значениям $\delta^{15}\text{N}$ четко делятся на 2 группы. В первую группу входит 1 вид безвыборочных детритофагов *Stenodiscus crispatus*, который существенно обеднен изотопом ^{15}N (9,8 ‰, ТУк — 3,0). Очевидно, эти морские звезды в данных условиях являются детритофагами, использующими относительно слабо переработанные органические остатки из донных осадков [Kharlamenko et al., 2013]. Во вторую группу вошли 3 вида плотоядных морских звезд, у которых высокие значения $\delta^{15}\text{N}$ (13,0–15,4 ‰) соответствуют положению этих беспозвоночных в донной пищевой сети в качестве верхнего звена (ТУк — 3,9–4,6).

Полихеты (Polychaeta). Изотопный состав азота у 6 представленных видов изменялся в широких пределах — от 8,2 до 13,0 ‰, а по способу питания они относятся к пяти группам (табл. 5). Минимальные значения имеют фильтрующие сестонофаги — Eunicidae gen. sp. из глубоководной части моря (ТУк — 2,5), максимальные — плотоядные полихеты Nerthyidae gen. sp. (ТУк — 3,9). Следует отметить, что у фильтраторов *Spiochaetopterus typicus*, пойманных на мелководье южной части моря, наблюдались высокие значения азота (11,8 ‰, ТУк — 3,6). Можно предположить, что при дефиците пищи эти полихеты могут быть собирающими детритофагами [Barnes, 1965], кроме того, у них в кишечнике, наряду с фитодетритом и одноклеточными водорослями, были обнаружены скелеты зоопланктона [Fauchald and Jumars, 1979].

Декаподы (Decapoda) в сборах представлены тремя таксономическими группами — Brachyura (короткохвостые раки), Caridea (настоящие креветки) и Penaeidea (примитивные креветки), различающиеся изотопным составом (табл. 5). Короткохвостые раки *Ch. opilio* и настоящие креветки имели высокое насыщение тяжелым углеродом и азотом, что характерно для типичных донных хищников, и, судя по значениям $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$, они в основном базируются на бентосной пищевой цепи, занимая в ней IV трофический уровень (ТУк — 4,0–4,5). Примитивные креветки Penaeidea представлены 1 видом *Eusergestes arcticus*, который был выловлен донным тралом в глубоководной части моря. По изотопному составу *E. arcticus* максимально отличается от донных и придонных беспозвоночных и не вписывается в донные трофические связи. Изотопный состав $\delta^{15}\text{N}$ (8,6 ‰) и $\delta^{13}\text{C}$ (–21,8 ‰) примитивных креветок показывает, что пищевой спектр состоит исключительно из пелагических объектов и близок к типичным пелагическим хищникам — гипериидам и медузам.

Остальные группы бентосных беспозвоночных были представлены 1–2 видами, которые внутри группы имели близкие значения содержания изотопов (табл. 5).

Различия между зообентосом и зоопланктоном в Карском море указывают на существенную роль органического вещества ледовых водорослей и/или микрофитобентоса в поддержании пищевых цепей бентосных организмов на исследуемой акватории, как это было показано для восточной части Чукотского моря [McTigue, Dunton, 2017]. На основании устойчивых различий в изотопном составе углерода между зоопланктоном и бентосными беспозвоночными можно провести условную границу между пелагическим и донным сообществами, которая соответствует среднему содержанию $\delta^{13}\text{C}$ — –21,5 ‰ (рис. 2).

Как видно на рис. 2, офиуры, мшанки и примитивные креветки, выловленные в западной глубоководной части моря, по изотопному составу углерода имеют минимальное насыщение ^{13}C , т.е. у них основным источником органического вещества, видимо, является продукция из пелагиали.

Нектон. Среди представителей нектона в Карском море были исследованы 3 доминирующих вида рыб из пелагического сообщества и 11 видов — из донного (табл. 6).

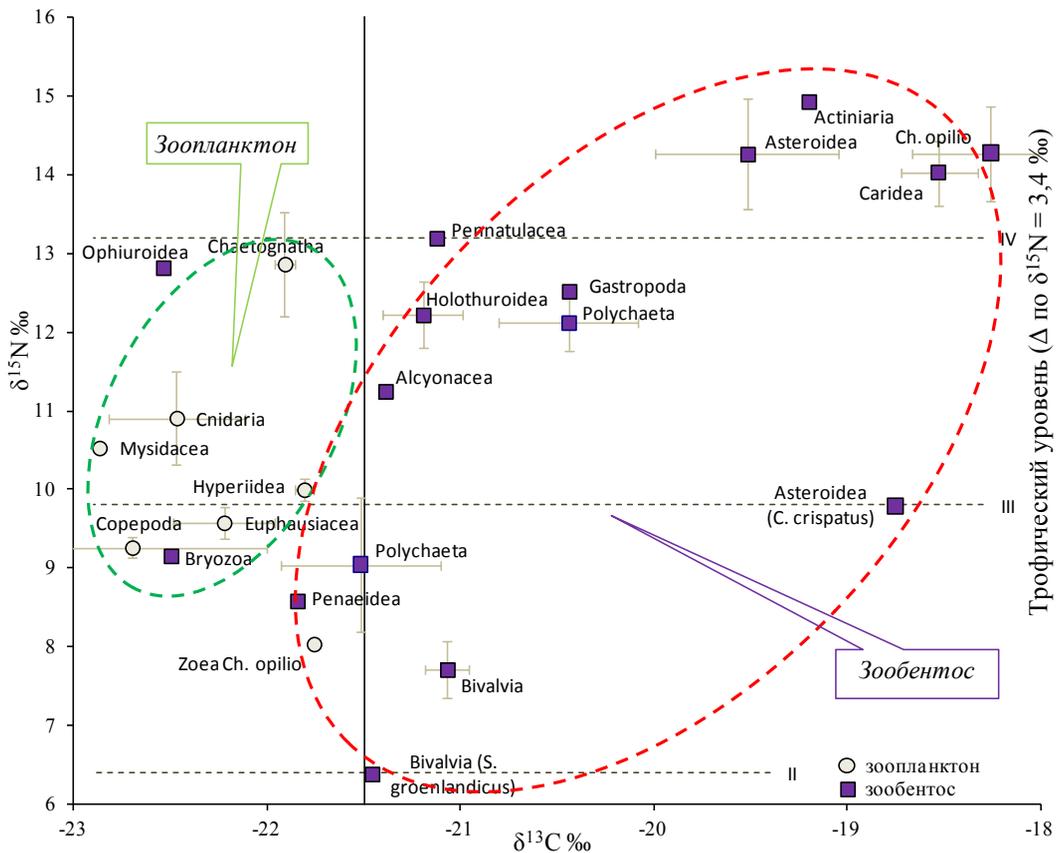


Рис. 2. Изотопный состав основных групп зоопланктона и зообентоса в Карском море: сплошная линия — условная граница разделения на пелагическое и донное сообщество; вертикальными и горизонтальными отрезками показаны стандартные ошибки средних значений
 Fig. 2. Isotope composition for the main groups of zooplankton and zoobenthos in the Kara Sea: solid line — conditional boundary between the pelagic and benthic communities; vertical and horizontal whiskies — standard errors of averaging

Изотопный состав углерода у пелагического nekтона изменялся от $-22,7$ до $-21,6$ ‰, у донных рыб — от $-21,8$ до $-20,2$ ‰ (табл. 6).

Относительно узкий диапазон вариаций величины $\delta^{13}\text{C}$ (всего $1,1$ ‰) в тканях пелагического nekтона (мойвы, сайки и сельди) показывает однородность в питании, т.е. у исследованного nekтона основу питания составляют исключительно пелагические объекты, что подтверждается и нашими исследованиями по питанию рыб в Карском море.

Диапазон межвидовых вариаций средних значений $\delta^{13}\text{C}$ у исследованных видов донного nekтона составил в среднем около $3,5$ ‰ (табл. 6). По изотопному составу $\delta^{13}\text{C}$ донный nekтон делится на две группы (рис. 3). Низкие значения $\delta^{13}\text{C}$ (ниже $-21,5$ ‰) имеют триглопс *Triglops nybelini*, 10 см, молодь арктического шлемоносца *Gymnocanthus tricuspis* juv, навага *Eleginus nawaga* и корюшка *Osmerus eperlanus*. Принимая во внимание изотопный состав углерода зоопланктона (от $-21,8$ до $-22,9$ ‰), можно полагать, что питание этих видов рыб базируется на пелагической пищевой цепи.

Данные по питанию этих видов рыб хорошо согласуются с изотопными исследованиями. У всех 4 видов основу питания составляли копеподы, эвфаузииды и гиперииды. Следует отметить, что у разноразмерной камбалы-ерша *Hippoglossoides platessoides* наиболее низкое насыщение ^{13}C ($-21,8$ ‰) наблюдалось у крупных особей, что связано с активным потреблением ими молоди сайки (рис. 4).

Таблица 6

Эколого-трофологическая характеристика и изотопный состав доминирующих видов нектона Карского моря

Table 6

Ecological and trophological characteristics and isotope composition for the dominant species of nekton in the Kara Sea

Состав нектона	Эк	Тп	$\delta^{13}C$	$\pm SE$	$\delta^{15}N$	$\pm SE$	ТУк	n
Пелагический нектон								
Clupeidae								
<i>Clupea pallasii</i> , 19 см	Н	ПФ ^{1,2}	-21,6		11,6		3,5	1
Gadidae								
<i>Boreogadus saida</i> , < 5 см	Эл	ПФ ^{1,3}	-22,7	0,3	11,0	0,3	3,3	3
<i>B. saida</i> , 5–10 см	Эл	ПФ ^{1,3}	-22,4		12,1		3,7	1
<i>B. saida</i> , 15–20 см	Эл	Х–ЭФ ^{1,3}	-22,0	0,1	13,7	0,4	4,1	2
<i>B. saida</i> , > 20 см	Эл	Х–ЭФ ^{1,3}	-21,9		14,1		4,3	1
Osmeridae								
<i>Mallotus villosus</i> , 12–16 см	Н	ПФ ^{1,2}	-22,1	0,2	12,5	0,2	3,8	3
Донный нектон								
Agonidae								
<i>Leptagonus decagonus</i> , 13 см	Эл	Б	-20,5		15,6		4,7	1
Cottidae								
<i>Triglops murrayi</i> , 12 см	Эл	ПФ, Б	-21,0		15,2		4,6	1
<i>T. nybelini</i> , 10 см	Эл	ПФ, Б	-21,8		12,5		3,8	1
<i>Gymnocanthus tricuspis</i> (juv.)	Эл	ПФ, Б ¹	-21,7		12,8		3,9	1
Gadidae								
<i>Eleginus nawaga</i> , 30 см	Эл	ЭФ–ПФ, Крв ^{1,4}	-21,7		15,2		4,6	1
Osmeridae								
<i>Osmerus eperlanus</i> , 15 см	ПН	ЭФ ¹	-21,7		15,4		4,7	1
Pleuronectidae								
<i>Hippoglossoides platessoides</i> , < 5 см		ПФ	-21,3		11,9		3,6	1
<i>H. platessoides</i> , 5–10 см		ПФ–Б	-21,3	0,1	13,1	0,3	4,0	4
<i>H. platessoides</i> , > 20 см		Х, Р	-21,5	0,4	15,1	0,4	4,6	3
Stichaeidae								
<i>Leptoclinus maculatus</i> , < 10 см	МБ	ПФ, Б	-21,2		12,0		3,7	1
<i>L. maculatus</i> , > 10 см	МБ	ПФ, Б	-20,8		14,6		4,4	1
<i>Anisarchus medius</i> , 18 см	МБ	ПФ, Б	-21,2		14,4		4,3	1
Zoarcidae								
<i>Lycodes pallidus</i> , 24 см	Эл	ЭФ, Крв, Р ¹	-20,4	0,3	14,9	0,7	4,5	2
<i>L. seminudus</i> , 15 см	Эл	ЭФ, Крв, Р ¹	-20,2	0,2	16,3	0,3	4,9	2

Примечание. Эл — элитеральный, Н — неритический, ПН — проходной неритический, МБ — мезобентальный; Р — рыбоед, Х — хищники, Б — бентофаги, ПФ — планктофаги, ЭФ — эврифаги, Крв — креветкоед.

¹ В.И. Чучукало [2006]; ² К.М. Горбатенко с соавторами [2004]; ³ Н.А. Кузнецова [2004]; ⁴ А.М. Токранов, А.Ф. Толстяк [1990].

Остальные виды донного нектона (10 видов) в основном базируются на донной пище (см. рис. 3), что подтверждается данными по питанию [Чучукало, 2006]. Таким образом, по донному нектону можно заключить, что всего у 4 видов донных рыб средние значения $\delta^{13}C$ из исследованных 14 видов показывают насыщение ниже $-21,5 \text{ ‰}$, т.е. преимущественно на пелагических объектах базируются около 30 % исследованных донных рыб, а с учетом крупных камбал-ершей — около 40 %.

Значения $\delta^{15}N$ у пелагических рыб изменяется от 11,0 до 14,1 ‰ (табл. 6), демонстрируя в первую очередь внутривидовую изменчивость, связанную с типом питания. Самые низкие значения $\delta^{15}N$ отмечены у сеголетов сайки (менее 10 см), а высокие —

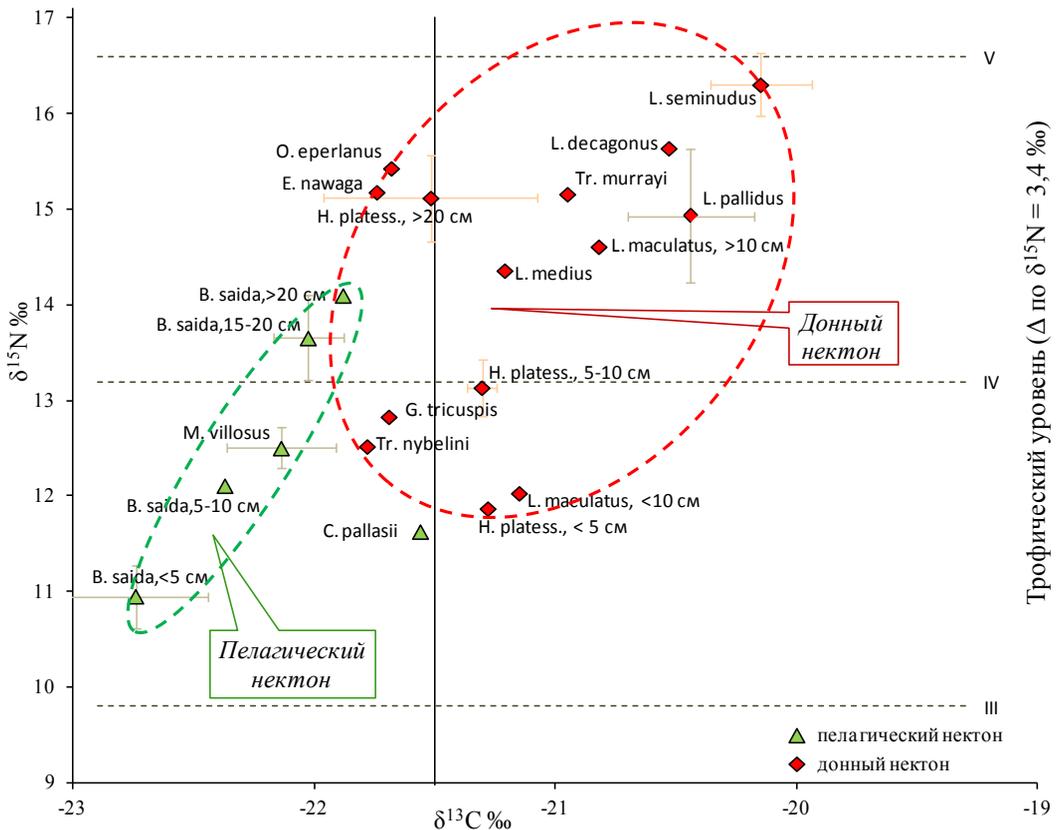


Рис. 3. Изотопный состав основных видов пелагического и донного нектона в Карском море (\pm SE): сплошная линия — условная граница разделения на пелагическое и донное сообщество; вертикальными и горизонтальными отрезками показаны стандартные ошибки средних значений

Fig. 3. Isotope composition for the main species of pelagic and bottom nekton in the Kara Sea (\pm SE): solid line — conditional boundary between the pelagic and benthic communities; vertical and horizontal whiskies — standard errors of averaging

у ее взрослых особей (более 20 см). Очевидно, что значения $\delta^{15}\text{N}$ отражают степень хищничества. У сайки с увеличением размера рыб спектр их пищевого рациона расширяется, при этом в питании увеличивается доля нектона и бентоса (рис. 5).

Высокие значения $\delta^{15}\text{N}$ у мойвы и сельди (ТУк 3,6–3,9) связаны с тем, что в рационе данных видов, наряду с планктоном, присутствовали личинки нектона (15–20 %), среди которых преобладали *Leptoclinius maculatus* (larvae — ≤ 40 мм).

Диапазон межвидовых вариаций средних значений $\delta^{15}\text{N}$ у исследованных видов донного нектона составил 4,3 ‰ (табл. 6). У мелкого лептоклинуса *L. maculatus* < 10 см значения $\delta^{15}\text{N}$ были наименьшими (12,0 ‰). Максимальные значения ($\delta^{15}\text{N}$ — 16,3 ‰, ТУк — 4,9) имел ликод *Lycodes seminudus* (см. рис. 3). Ликоды отличаются широким спектром питания, их рацион включает, наряду с полихетами и креветками, головоногих моллюсков и рыб [Чучукало, 2006]. Изотопный состав азота и углерода указывает, что они относятся к типичным хищникам 3–4-го порядка, а основу их пищи в Карском море составляют донные животные. Остальные донные рыбы располагаются на III и IV трофических уровнях, т.е. являются консументами 2–3-го порядка.

Полученные значения изотопного состава углерода и азота у 50 видов (см. табл. 1) пелагических и донных гидробионтов (зоопланктон, зообентос, пелагический и донный нектон) в Карском море изменялись в широких пределах. Зоопланктон значительно

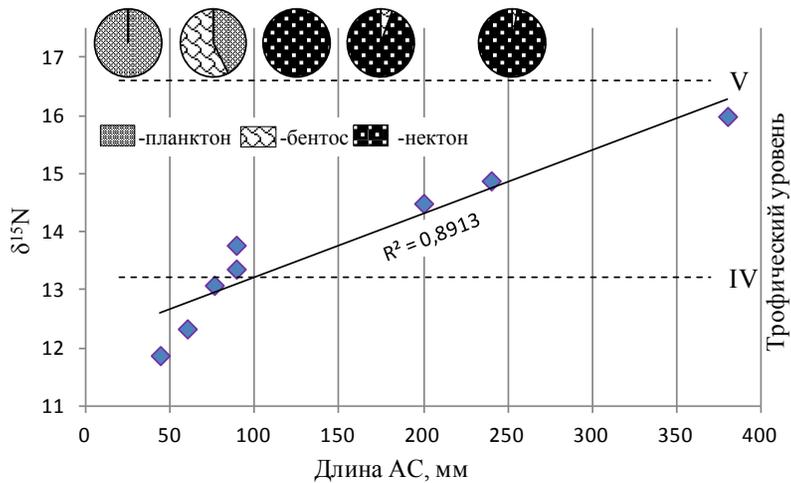


Рис. 4. Изменение трофического статуса камбалы-ерша в зависимости от размеров в сопоставлении со спектром питания в Карском море

Fig. 4. Trophic status of ruffed flounder in the Kara Sea in dependence on body size compared with the food spectrum

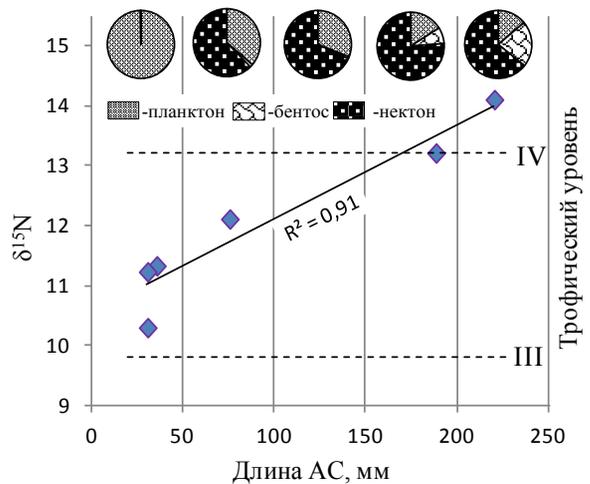


Рис. 5. Изменение трофического статуса сайки в зависимости от размера в сопоставлении со спектром питания в Карском море

Fig. 5. Trophic status of arctic cod in the Kara Sea in dependence on body size compared with the food spectrum

отличается от бентосных беспозвоночных изотопным составом углерода (см. рис. 2). Такая картина разделения бентоса и зоопланктона по изотопам углерода характерна для арктических морей [Hobson et al., 2002] и является следствием различных изотопных характеристик потребляемой ими первичной продукции. Более высокое обогащение изотопом ^{13}C донных пищевых цепей может являться результатом переработки фитодетрита планктонного происхождения в донных осадках [Lovvorn et al., 2005]. Значения $\delta^{13}\text{C}$ взвешенного органического вещества в арктических морях обычно находится в пределах -24 и -22 ‰ [Hobson, Welch, 1992; Iken et al., 2005], причем в районах, находящихся под влиянием терригенного стока, происходит уменьшение значений $\delta^{13}\text{C}$, так как терригенный углерод по изотопному составу легче, чем морской [Naidu et al., 2000; Kendall et al., 2001].

На основании устойчивых различий в изотопном составе углерода между зоопланктоном и зообентосом в Карском море условная граница между пелагическим и донным сообществами соответствует среднему содержанию $\delta^{13}\text{C}$ $-21,5$ ‰ (см. рис. 2). В Охотском и Беринговом морях граница, разделяющая пелагические и донные гидробионты, соответствует значению $\delta^{13}\text{C}$ $-17,5$ [Горбатенко и др., 2008, Горбатенко, 2018]. Смещение условной границы между донным и пелагическим сообществами в

Карском море на 3 ‰ связано с более низким обогащением изотопом ^{13}C у гидробионтов в данном арктическом бассейне.

Общая схема пищевых связей в пелагических и донных сообществах в летний период в Карском море представлена на рис. 6.

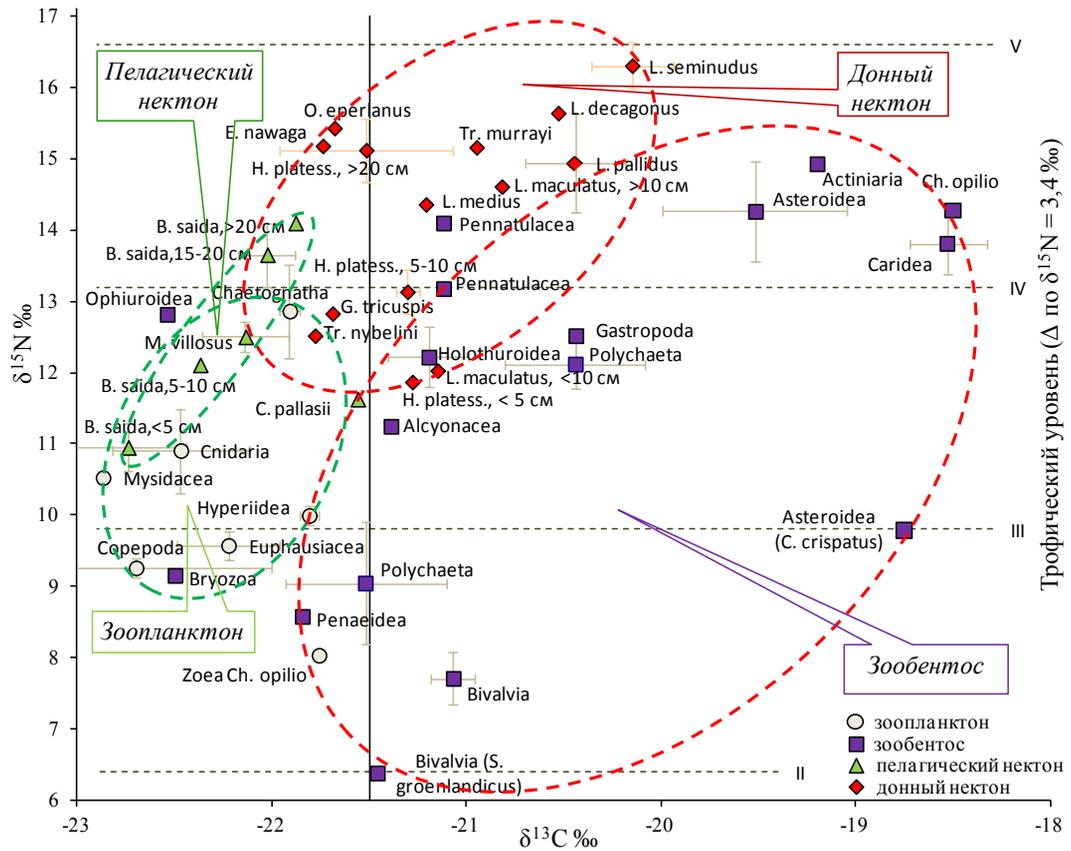


Рис. 6. Трофический статус гидробионтов в трофической сети Карского моря: II, III, IV, V — трофические уровни; сплошная линия — условная граница разделения на пелагическое и донное сообщество

Fig. 6. Trophic status of marine organisms in the trophic web of the Kara Sea: II, III, IV, V — trophic levels; solid line — conditional boundary between the pelagic and benthic communities

У всех рыб Карского моря диапазон вариаций изотопного состава углерода $\delta^{13}\text{C}$ изменяется от $-22,7$ (сеголетки сайки) до $-20,2$ ‰ (ликод *L. seminudus*).

Величины $\delta^{13}\text{C}$ в тканях каждого из проанализированных видов зависели от доли в рационе пелагических или донных животных. По значениям $\delta^{13}\text{C}$ выделяются две группы рыб: в первую группу входят организмы, у которых основу питания составляют пелагические виды, поэтому значения $\delta^{13}\text{C}$ были ниже $-21,5$ ‰ (см. рис. 5). Сюда относятся все пелагические виды, а из донных — триглопс *T. nybelini*, молодь арктического шлемоносца *G. tricuspis* juv., навага *E. nawaga*, корюшка *O. eperlanus* и крупные особи камбалы-ерша *H. platessoides*. Во вторую группу вошли 6 видов донных рыб, потребляющих в основном донных животных (см. рис. 3).

Значения $\delta^{15}\text{N}$ исследованных гидробионтов в пелагическом и донном сообществе изменялись в диапазоне от 6,4 (у двустворчатых моллюсков — фильтрующих сестонофагов *S. groenlandicus*) до 16,3 ‰ (у ликода *L. seminudus*), что соответствует трем трофическим уровням (см. рис. 6). Очевидно, что значения $\delta^{15}\text{N}$ отражают элемент хищничества. Изотопный состав азота не только варьирует между различными видами гидробионтов, но может меняться также внутри одного вида с возрастом (увеличением

размеров тела), что связано с изменением спектра питания. Это продемонстрировано на примере сайки и камбалы-ерша (см. рис. 4, 5).

На основании полученных средних значений $\delta^{15}\text{N}$ исследованные гидробионты были отнесены к трем трофическим уровням.

Второй трофический уровень занимают нехищные формы планктона и бентоса, у которых обнаружены самые низкие значения азота ^{15}N , кормовая база их основана главным образом на ресурсах первичной продукции (ТУк — 2). По мере увеличения всеядности трофический уровень увеличивается, и гидробионты занимают промежуточное положение между II и III трофическими уровнями, являясь консументами 1-го и в меньшей степени 2-го порядков. Основу II трофического уровня составляют представители планктона — копеподы, эвфаузииды и личинки краба-стригуна; из бентоса — двустворчатые моллюски, мшанки, нехищные полихеты и примитивные креветки (см. рис. 6).

Третий трофический уровень более разнообразен и включает в основном консументов 2-го порядка — хищный планктон и бентос, а также рыб (рис. 6). Основу питания этой группы животных составляют гидробионты II трофического уровня пищевых цепей. Планктон этого уровня представлен крупной гипериидой *Th. libellula*, сагиттой *P. elegans*, мизидами и медузами. Среди бентосных беспозвоночных консументами второго порядка являются гастропода, 2 вида морских звезд, голотурии, мягкие кораллы, 4 вида полихет. Среди рыб к консументам второго порядка можно отнести молодь сайки, мойву, сельдь, а из донных видов — триглопса *T. nybelini*, молодь камбалы-ерша, люмпенов и арктического шлемоносца.

Четвертый трофический уровень включает консументов 3-го порядка, к которым в Карском море относятся из бентоса — актинии, морские перья, краб-стригун опилио и северная креветка, из рыб — крупная сайка, камбала-ерш и люмпены, триглопс *Triglops murrayi*, навага, зубатая корюшка и два вида ликодов (рис. 6).

Таким образом, на вершине пищевой пирамиды донного сообщества в Карском море находятся ликоды, зубатая корюшка и морские лисички, а в пелагиали — крупная сайка. Анализ содержимого желудков подтвердил, что у всех перечисленных рыб объектами питания являются гидробионты, составляющие основу III трофического уровня. Причем у морских лисичек в основу пищевого рациона входили донные беспозвоночные — декаподы и гаммариды, а у крупной сайки, зубатой корюшки и ликодов, наряду с беспозвоночными, — головоногие моллюски и рыбы (преобладают личинки и молодь сайки, личинки люмпенов и сельди).

Общая схема пищевых связей в пелагических и донных сообществах в Карском море в летний период по данным содержания желудков и анализа соотношения стабильных изотопов углерода $\delta^{13}\text{C}$ и азота $\delta^{15}\text{N}$ представлена на рис. 7.

Следует отметить, что в Карском море отсутствуют хищники, которые питаются крабом-стригуном опилио, что дает дополнительную возможность для увеличения его численности в данном регионе.

Полученные результаты демонстрируют высокую степень донно-пелагических связей через нектонные организмы, которые в той или иной степени зависят от донной и пелагической пищи. Заметим, что о тесных связях между планктоном и бентосом, особенно в высоких широтах, упоминалось и ранее [Petersen, Curtis, 1980], причем отмечалось, что донно-пелагические связи в морских экосистемах в высоких широтах более выражены, чем в низких.

В заключение отметим, что на первый взгляд донные организмы по изотопным характеристикам базируются на донной пищевой цепи и влияние органического вещества из пелагиали менее значительно. Это согласуется с данными исследователей, которые полагают, что и первичная бентосная продукция может снабжать значительным количеством органического углерода донных гидробионтов [Cahoon, Cooke, 1992; Takai et al., 2002]. Однако у нас нет информации о ледовых водорослях, продукция которых

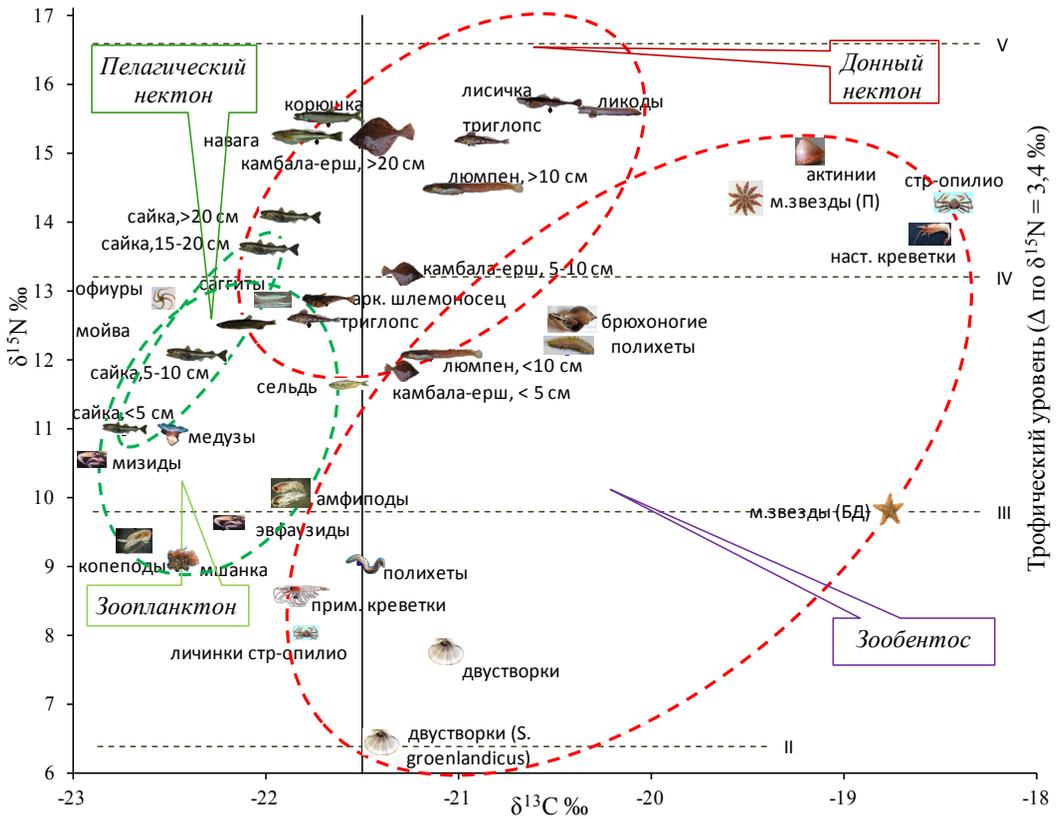


Рис. 7. Трофические связи в Карском море по данным содержания желудков и значениям стабильных изотопов углерода $\delta^{13}\text{C}$ и азота $\delta^{15}\text{N}$

Fig. 7. Trophic links in the Kara Sea determined by analyses of stomach content and values of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$

в западной Арктике является одним из основных источников (25–35 %) органического вещества донных осадков [Morris et al., 2015]. В Карском море, учитывая ледовую обстановку, ледовые водоросли также могут являться одним из основных источников органики в донном сообществе. Если значения $\delta^{13}\text{C}$ у ледовых водорослей выше, чем у фитопланктона пелагиали, возможно, что более высокое обогащение изотопом ^{13}C донных пищевых цепей может являться результатом переработки фитодетрита в донных осадках. В этом случае основным источником (60–70 %) органического вещества донных осадков является продукция из пелагиали. Таким образом, роль первичных планктонных и бентосных продуцентов в Карском море в наших исследованиях до конца не выяснена и необходимы дополнительные исследования.

Выводы

В Карском море у исследованных гидробионтов наблюдаются относительно низкие значения $\delta^{13}\text{C}$. На основании устойчивых различий в изотопном составе углерода между зоопланктоном и бентосом граница между пелагическим и донным сообществами соответствует среднему содержанию $\delta^{13}\text{C}$ — $-21,5 \text{ ‰}$.

Содержание изотопа углерода ^{13}C в тканях и исследования по питанию рыб показали, что около 40 % видов донного нектона в основном замыкаются на пелагическую пищевую сеть, обходя традиционную глубоководную. У пелагических рыб основу питания составляют пелагические объекты. Хотя у доминирующего вида нектона — сайки — с увеличением размеров увеличивается доля зообентоса, у камбалы-ерша, напротив, — уменьшается.

Значения $\delta^{15}N$ исследованных гидробионтов в пелагическом и донном сообществе изменялись в диапазоне от 6,4 до 16,3 ‰, что соответствует трем трофическим уровням и отражает элементы хищничества.

Трофические связи в Карском море демонстрируют высокую степень взаимозависимости донного и пелагического сообществ, поскольку пелагические и донные рыбы в той или иной степени являются потребителями как донной, так и пелагической пищи.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают глубокую признательность всем сотрудникам, принимавшим участие в арктической экспедиции в Карском море и участвовавшим в сборе материалов, использованных в работе, а также ведущему специалисту Н.Е. Кравченко за подготовку таблиц и рисунков.

The authors are deeply grateful to the members of the Arctic expedition to the Kara Sea who collected the materials for this study and to N.E. Kravchenko, leading specialist of TINRO, for his assistance in preparing tables and figures for the manuscript.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The study had no sponsor funding.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены. Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

All applicable international, national and/or institutional principles for the care and use of animals are observed. The authors declare that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

К.М. Горбатенко — сбор и обработка материалов, написание статьи; И.В. Мельников — интерпретация результатов, подготовка таблиц и рисунков, редакторская правка.

K.M. Gorbatenko — data collection and processing, text writing; I.V. Melnikov — interpretation of results, preparation of tables and figures, editing.

Список литературы

Арашкевич Е.Г. Характер питания копепод северо-западной части Тихого океана // Океанол. — 1969. — Т. 9, № 5. — С. 857–873.

Атлас кишечнорастных дальневосточных морей России / С.В. Явнов ; под ред. В.И. Чучукало. — Владивосток : Русский Остров, 2010а. — 168 с.

Атлас морских звезд дальневосточных морей России / С.В. Явнов ; под ред. В.А. Ракова. — Владивосток : Русский Остров, 2010б. — 240 с.

Горбатенко К.М. Трофодинамика гидробионтов в Охотском море : дис. ... д-ра биол. наук. — Владивосток, 2018. — 468 с.

Горбатенко К.М., Заволокин А.В., Мерзляков А.Ю., Кияшко С.И. Трофический статус медуз (Cnidaria) Охотского моря и специфика их питания весной // Изв. ТИНРО. — 2005. — Т. 143. — С. 240–248.

Горбатенко К.М., Кияшко С.И., Лаженцев А.Е. и др. Бенито-пелагические трофические связи в ихтиоценое шельфовой зоны западной части Берингова моря по данным анализа содержимого желудков и стабильных изотопов углерода и азота // Изв. ТИНРО. — 2008. — Т. 153. — С. 283–294.

Горбатенко К.М., Кияшко С.И., Лаженцев А.Е. и др. Исследование трофической структуры экосистемы пелагиали Охотского моря по изотопному составу азота и углерода в органическом веществе гидробионтов // Тез. докл. 17-го симпоз. по стабильным изотопам. — М. : ГЕОХИ, 2004. — С. 68–69.

- Гутельмахер В.Л., Садчиков А.П., Филиппова Т.Г.** Питание зоопланктона : Итоги науки и техники. Сер. общ. экол., биоценол., гидробиол. — М. : ВИНТИ, 1988. — Т. 6. — 156 с.
- Догель В.А.** Зоология беспозвоночных : учеб. — 7-е изд., перераб. и доп. — М. : Высш. шк., 1981. — 606 с.
- Косихина О.В.** Исследование питания Chaetognatha // Экол. моря. — 1982. — Т. 11. — С. 79–83.
- Кузнецова Н.А.** Питание и пищевые отношения нектона в эпипелагиали северной части Охотского моря : дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2004. — 316 с.
- Надточий В.А., Чучукало В.И., Кобликов В.Н.** Питание краба-стригуна *Chionoecetes opilio* в Анадырском заливе Берингова моря в осенний период // Изв. ТИНРО. — 2001. — Т. 128. — С. 432–435.
- Орлов А.М., Савин А.Б., Горбатенко К.М. и др.** Биологические исследования в российских дальневосточных и арктических морях в трансарктической экспедиции ВНИРО // Тр. ВНИРО. — 2020. — Т. 181. — С. 102–143. DOI: 10.36038/2307-3497-2020-181-102-143.
- Пономарева Л.А.** Питание и распределение эвфаузиид Японского моря // Зоол. журн. — 1955. — Т. 34, № 1. — С. 85–97.
- Скарлато О.А.** Двустворчатые моллюски умеренных широт западной части Тихого океана : моногр. — Л. : Наука, 1981. — 480 с.
- Токранов А.М., Толстяк А.Ф.** Пищевая ниша дальневосточной наваги *Eleginus gracilis* (Tilesius) в прибрежных водах Камчатки // Изв. ТИНРО. — 1990. — Т. 111. — С. 114–122.
- Турпаева Е.П.** Питание и пищевые группировки морских донных беспозвоночных // Тр. ИОАН СССР. — 1953. — Т. 7. — С. 259–299.
- Цихон-Луканина Е.А.** Трофология водных моллюсков : моногр. — М. : Наука, 1987. — 175 с.
- Чучукало В.И.** Питание и пищевые отношения нектона и нектобентоса в дальневосточных морях : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2006. — 484 с.
- Чучукало В.И., Шебанова М.А.** Характеристика питания некоторых видов креветок в Охотском море весной 2002 г. // Изв. ТИНРО. — 2003. — Т. 138. — С. 190–196.
- Barnes R.D.** Tube-building and feeding in Chaetopterid Polychaetes // Biol. Bull. — 1965. — Vol. 129, № 2. — P. 217–233.
- Barton M.B., Moran J.R., Vollenweider J.J. et al.** Latitudinal dependence of body condition, growth rate, and stable isotopes of juvenile capelin (*Mallotus villosus*) in the Bering and Chukchi Seas // Polar Biol. — 2017. — Vol. 40, Iss. 7. — P. 1465–1466. DOI: 10.1007/s00300-016-2041-8.
- Sahoon L.B., Cooke J.E.** Benthic microalgal production in Onslow Bay, North Carolina, U.S.A. // Mar. Ecol. Prog. Ser. — 1992. — Vol. 84. — P. 185–196.
- Carey A.G.** Food sources of sublittoral, bathyal and abyssal asteroids in the northeast Pacific Ocean // Ophelia. — 1972. — Vol. 10(1). — P. 35–47.
- Fauchald K. and Jumars P.A.** The diet of worms: a study of polychaete feeding guilds // Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev. — 1979. — Vol. 17. — P. 193–284.
- Hobson K.A., Fisk A., Karnovsky N. et al.** A stable isotope ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) model for the North Water food web: implications for evaluating trophodynamics and the flow of energy and contaminants // Deep-Sea Res. II. — 2002. — Vol. 49, Iss. 22–23. — P. 5131–5150. DOI: 10.1016/S0967-0645(02)00182-0.
- Hobson K.A., Welch H.E.** Determination of trophic relationship within a high Arctic marine food web using $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ analysis // Mar. Ecol. Prog. Ser. — 1992. — Vol. 84. — P. 9–18. DOI: 10.3354/meps084009.
- Howell K.L., Pond D.W., Billett D.S.M. and Tyler P.A.** Feeding ecology of deep-sea seastars (Echinodermata: Asteroidea): a fatty-acid biomarker approach // Mar. Ecol. Prog. Ser. — 2003. — Vol. 255. — P. 193–206. DOI: 10.3354/meps255193.
- Iken K., Bluhm B., Dunton K.** Benthic food-web structure under differing water mass properties in the southern Chukchi Sea // Deep-Sea Res. II. — 2010. — Vol. 57, Iss. 1–2. — P. 71–85. DOI: 10.1016/j.dsr2.2009.08.007.
- Iken K., Bluhm B.A., Gradinger R.** Food web structure in the high Arctic Canada Basin: evidence from $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ analysis // Polar Biol. — 2005. — Vol. 28, № 3. — P. 238–249. DOI: 10.1007/s00300-004-0669-2.
- Jackson A.L., Inger R., Parnell A.C., Bearhop S.** Comparing isotopic niche widths among and within communities: SIBER — Stable Isotope Bayesian Ellipses in R // J. Animal Ecol. — 2011. — Vol. 80, Iss. 3. — P. 595–602. DOI: 10.1111/j.1365-2656.2011.01806.x.

Jaschinski S., Hansen T., Sommer U. Effects of acidification in multiple stable isotope analyses // *Limnology and Oceanography Methods*. — 2008. — Vol. 6, № 1. — P. 12–15. DOI: 10.4319/lom.2008.6.12.

Kendall C., Silva S.R., Kelly V.J. Carbon and nitrogen isotopic compositions of particulate organic matter in four large river systems across the United States // *Hydrol. Process.* — 2001. — Vol. 15, № 7. — P. 1301–1346.

Kharlamenko V.I., Brandt A., Kiyasko S.I., Würzberg L. Trophic relationship of benthic invertebrate fauna from the continental slope of the Sea of Japan // *Deep-Sea Res. II*. — 2013. — Vol. 86. — P. 34–42. DOI: 10.1016/j.dsr2.2012.08.007.

Lovvorn J.R., Cooper L.W., Brooks M.L. et al. Organic matter pathways to zooplankton and benthos under pack ice in late winter and open water in later summer in the north-central Bering Sea // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* — 2005. — Vol. 291. — P. 135–150. DOI: 10.3354/meps291135.

McTigue N.D., Dunton K.H. Trophodynamics of the Hanna Shoal Ecosystem (Chukchi Sea, Alaska): Connecting multiple end-members to a rich food web // *Deep-Sea Res. II*. — 2017. — Vol. 144. — P. 175–189. DOI: 10.1016/j.dsr2.2017.08.010.

Morris D.J., O'Connell M.T., Macko S.A. Assessing the importance of terrestrial organic carbon in the CHUKCHI and Beaufort seas // *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. — 2015. — Vol. 164. — P. 28–43. DOI: 10.1016/j.ecss.2015.06.011.

Naidu A.S., Cooper L.W., Finney B.P. et al. Organic carbon isotope ratios ($\delta^{13}\text{C}$) of Arctic Amerasian continental shelf sediments // *Int. J. Earth Sci.* — 2000. — Vol. 89. — P. 522–532. DOI: 10.1007/s005310000121.

Petersen G.H., Curtis M.A. Differences in energy flow through major components of subarctic, temperate and tropical marine shelf ecosystems // *Dana*. — 1980. — Vol. 1. — P. 53–64.

Post D.M. Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions // *Ecology*. — 2002. — Vol. 83, Iss. 3. — P. 703–718. DOI: 10.2307/3071875.

Takai N., Mishima Y., Yorozu A., Hoshika A. Carbon sources for demersal fish in the western Seto Inland Sea, Japan, examined by $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ analyses // *Limnol. Oceanogr.* — 2002. — Vol. 47, Iss. 3. — P. 730–741. DOI: 10.4319/LO.2002.47.3.0730.

References

Arashkevich, E.G., The food and feeding of copepods in the northwestern Pacific, *Oceanology*, 1969, vol. 9, no. 5, pp. 857–873.

Yavnov, S.V., *Atlas kishhechnopolostnykh dal'nevostochnyy morey Rossii* (Atlas of the coelenterates of the Far Eastern seas of Russia), Chuchukalo, V.I., ed., Vladivostok: Vladivostok: Russkiy Ostrov, 2010.

Yavnov, S.V., *Atlas morskikh zvezd dal'nevostochnyy morey Rossii* (Atlas of sea stars of the Far Eastern seas of Russia), Rakov, V.A., ed., Vladivostok: Russkiy Ostrov, 2010.

Gorbatenko, K.M., Trophodynamics of aquatic organisms in the Sea of Okhotsk, *Doctoral (Biol.) Dissertation*, Vladivostok, 2018.

Gorbatenko, K.M., Zavolokin, A.V., Merzlyakov, A.Yu., and Kiyashko, S.I., Trophic status of medusas (Cnidaria) of the Okhotsk Sea and their feeding habits in spring, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2005, vol. 143, pp. 240–248.

Gorbatenko, K.M., Kiyashko, S.I., Lazhentsev, A.E., Nadtochiy, V.A., and Savin, A.B., Trophic benthic-pelagic interactions of the fish community in the shelf zone of western Bering sea revealed by analysis of stomach contents and stable isotopes of carbon and nitrogen, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2008, vol. 153, pp. 283–294.

Gorbatenko, K.M., Kiyashko, S.I., Lazhentsev, A.Ye., Ignat'ev, A.V., and Velivetskaya, T.A., The study of trophic structure of the pelagic zone ecosystem of the Sea of Okhotsk, based on N and C isotope composition of organic matter of aquatic organisms, in *Tezisy dokl. 17-go simpoziuma po stabil'nyim izotopam* (Proc. 17th Symp. on Stable Isotopes), Moscow: Inst. Geokhim. Anal. Khim., 2004, pp. 68–69.

Gutel'makher, V.L., Sadchikov, A.P., and Filippova, T.G., Zooplankton Nutrition, *Itogi nauki i tekhniki. Ser.: obshchaya ekologiya, biotsenologiya, gidrobiologiya* (Results of Science and Technology. Ser.: general ecology, biocenology, hydrobiology), Moscow: Vseros. Inst. nauch. i tekhn. inf., 1988, vol. 6.

Dogel, V.A., *Uchebnik zoologii bespozvonochnykh* (Textbook of Invertebrate Zoology), Leningrad: Biomedgiz, 1934.

Kosikhina, O.V., Studies in Chaetognatha nutrition, *Ekol. Morya*, 1982, vol. 11, pp. 79–83.

Kuznetsova, N.A., Diet and feeding interactions of nekton in the epipelagic zone of the northern Sea of Okhotsk, *Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2004.

Nadtochiy, V.A., Chuchukalo, V.I., and Koblikov, V.N., On the feeding of snow crab (*Chionoecetes opilio*) in the Anadyr Bay in the Bering Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2001, vol. 128, pp. 432–435.

Orlov, A.M., Savin, A.B., Gorbatenko, K.M., Benzik, A.N., Morozov, T.B., Rybakov, M.O., Terent'ev, D.A., Vedishcheva, E.V., Kurbanov, Yu.K., Nosov, M.A., and Orlova, S.Yu., Biological research in the Russian Far Eastern and Arctic seas during the VNIRO transarctic expedition, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2020, vol. 181, pp. 102–143. doi 10.36038/2307-3497-2020-181-102-143

Ponomareva, L.A., Diet and distribution of euphausiids in the Sea of Japan, *Zool. Zh.*, 1955, vol. 34, no. 1, pp. 85–97.

Skarlato, O.A., *Dvustvorchatye mollyuski umerennykh shirot zapadnoi chasti Tikhogo okeana* (Bivalves in Temperate Latitudes of the Western Pacific Ocean), Leningrad: Nauka, 1981.

Tokranov, A.M. and Tolstyak, A.F., Food niche of the Pacific navaga *Eleginus gracilis* (Tilesius) in coastal waters of Kamchatka, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1990, vol. 111, pp. 114–122.

Turpaeva, E.P., Nutrition and food groups of marine benthic invertebrates, *Tr. Inst. Okeanol. im. P.P. Shirshova, Akad. Nauk SSSR*, 1953, vol. 7, pp. 259–299.

Tsikhon-Lukanina, E.A., *Trofologiya vodnykh mollyuskov* (Trophology of aquatic molluscs), Moscow: Nauka, 1987.

Chuchukalo, V.I., *Pitanie i pishchevye otnosheniya nektona i nektobentosa v dal'nevostochnykh moryakh* (Diet and Feeding Interactions among Nekton and Nektobenthos in the Far Eastern Seas), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2006.

Chuchukalo, V.I. and Shebanova, M.A., Characteristics of feeding of some shrimp species in the Okhotsk Sea in spring of 2002, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2003, vol. 138, pp. 190–196.

Barnes, R.D., Tube-building and feeding in Chaetopterid Polychaetes, *Biol. Bull.*, 1965, vol. 129, no. 2, pp. 217–233.

Barton, M.B., Moran, J.R., Vollenweider, J.J., Heintz, R.A., and Boswell, K.M., Latitudinal dependence of body condition, growth rate, and stable isotopes of juvenile capelin (*Mallotus villosus*) in the Bering and Chukchi Seas, *Polar Biol.*, 2017, vol. 40, no. 7, pp. 1465–1466. doi 10.1007/s00300-016-2041-8

Cahoon, L.B. and Cooke, J.E., Benthic microalgal production in Onslow Bay, North Carolina, U.S.A., *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 1992, vol. 84, pp. 185–196.

Carey, A.G., Food sources of sublittoral, bathyal and abyssal aster-oids in the northeast Pacific Ocean, *Ophelia*, 1972, vol. 10(1), pp. 35–47.

Fauchald, K. and Jumars, P.A., The diet of worms: a study of polychaete feeding guilds, *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 1979, vol. 17, pp. 193–284.

Hobson, K.A., Fisk, A., Karnovsky, N., Holst, M., Gagnon, J.-M., and Fortier, M., A stable isotope ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) model for the North Water food web: implications for evaluating trophodynamics and the flow of energy and contaminants, *Deep-Sea Res., Part II*, 2002, vol. 49, no. 22–23, pp. 5131–5150. doi 10.1016/S0967-0645(02)00182-0

Hobson, K.A. and Welch, H.E., Determination of trophic relationship within a high Arctic marine food web using $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ analysis, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 1992, vol. 84, pp. 9–18. doi 10.3354/meps084009

Howell, K.L., Pond, D.W., Billett, D.S.M., and Tyler, P.A., Feeding ecology of deep-sea seastars (Echinodermata: Asteroidea): a fatty-acid biomarker approach, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 2003, vol. 255, pp. 193–206. doi 10.3354/meps255193

Iken, K., Bluhm, B., and Dunton, K., Benthic food-web structure under differing water mass properties in the southern Chukchi Sea, *Deep-Sea Res., Part II*, 2010, vol. 57, no. 1–2, pp. 71–85. doi 10.1016/j.dsr2.2009.08.007

Iken, K., Bluhm, B.A., and Gradinger, R., Food web structure in the high Arctic Canada Basin: evidence from $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ analysis, *Polar Biol.*, 2005, vol. 28, no. 3, pp. 238–249. doi 10.1007/s00300-004-0669-2

Jackson, A.L., Inger, R., Parnell, A.C., and Bearhop, S., Comparing isotopic niche widths among and within communities: SIBER — Stable Isotope Bayesian Ellipses in R, *J. Animal Ecol.*, 2011, vol. 80, no. 3, pp. 595–602. doi 10.1111/j.1365-2656.2011.01806.x

Jaschinski, S., Hansen, T., and Sommer, U., Effects of acidification in multiple stable isotope analyses, *Limnology and Oceanography Methods*, 2008, vol. 6, no. 1, pp. 12–15. doi 10.4319/lom.2008.6.12

Kendall, C., Silva, S.R., and Kelly, V.J., Carbon and nitrogen isotopic compositions of particulate organic matter in four large river systems across the United States, *Hydrol. Process.*, 2001, vol. 15, no. 7, pp. 1301–1346.

Kharlamenko, V.I., Brandt, A., Kiyasko, S.I., and Würzberg L., Trophic relationship of benthic invertebrate fauna from the continental slope of the Sea of Japan, *Deep-Sea Res., Part II*, 2013, vol. 86, pp. 34–42. doi 10.1016/j.dsr2.2012.08.007

Lovvorn, J.R., Cooper, L.W., Brooks, M.L., De Ruyck, C.C., Bump, J.K., and Grebmeier, J.M., Organic matter pathways to zooplankton and benthos under pack ice in late winter and open water in later summer in the north-central Bering Sea, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 2005, vol. 291, pp. 135–150. doi 10.3354/meps291135

McTigue, N.D. and Dunton, K.H., Trophodynamics of the Hanna Shoal Ecosystem (Chukchi Sea, Alaska): Connecting multiple end-members to a rich food web, *Deep-Sea Res., Part II*, 2017, vol. 144, pp. 175–189. doi 10.1016/j.dsr2.2017.08.010

Morris, D.J., O'Connell, M.T., and Macko, S.A., Assessing the importance of terrestrial organic carbon in the CHUKCHI and Beaufort seas, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2015, vol. 164, pp. 28–43. doi 10.1016/j.ecss.2015.06.011

Naidu, A.S., Cooper, L.W., Finney, B.P., Macdonald, R.W., Alexander, C., and Semiletov, I.P., Organic carbon isotope ratios ($\delta^{13}C$) of Arctic Amerasian continental shelf sediments, *Int. J. Earth Sci.*, 2000, vol. 89, pp. 522–532. doi 10.1007/s005310000121

Petersen, G.H. and Curtis, M.A., Differences in energy flow through major components of subarctic, temperate and tropical marine shelf ecosystems, *Dana*, 1980, vol. 1, pp. 53–64.

Post, D.M., Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions, *Ecology*, 2002, vol. 83, no. 3, pp. 703–718. doi 10.2307/3071875

Takai, N., Mishima, Y., Yorozu, A., and Hoshika, A., Carbon sources for demersal fish in the western Seto Inland Sea, Japan, examined by $\delta^{13}C$ and $\delta^{15}N$ analyses, *Limnol. Oceanogr.*, 2002, vol. 47, no. 3, pp. 730–741. doi 10.4319/lo.2002.47.3.0730

Поступила в редакцию 7.06.2024 г.

После доработки 3.07.2024 г.

Принята к публикации 13.09.2024 г.

The article was submitted 7.06.2024; approved after reviewing 3.07.2024; accepted for publication 13.09.2024

Научная статья

УДК 597.552.511–152.6

DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-568-579

EDN: RKLLPU

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВОСПРОИЗВОДСТВА КИЖУЧА
ONCORHYNCHUS KISUTCH В ХАБАРОВСКОМ КРАЕ****В.И. Островский***Хабаровский филиал ВНИРО (ХабаровскНИРО),
680038, г. Хабаровск, Амурский бульвар, 13а

Аннотация. Исследованы причины отклонений фактической численности половозрелых потомков кижуча Охотского района от зависимости «родители–потомки», описываемой уравнением Рикера. Показано, что отклонения хорошо статистически связаны с изменчивостью температуры воздуха и количества осадков в период нагула молоди кижуча в реках. Совместным влиянием численности родителей и погодных условий в пресноводный период жизни объяснимо более 90 % изменчивости численности поколений кижуча. Вероятно, влияние погодных факторов на численность поколений кижуча реализуется через условия питания и роста молоди. Результаты обсуждаются в сравнении с аналогичными исследованиями некоторых популяций горбуши и кеты.

Ключевые слова: тихоокеанские лососи, *Oncorhynchus kisutch*, Охотское море, численность поколений, метеорологические факторы

Для цитирования: Островский В.И. Закономерности воспроизводства кижуча *Oncorhynchus kisutch* в Хабаровском крае // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 3. — С. 568–579. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-568-579. EDN: RKLLPU.

Original article

**Patterns of reproduction for coho salmon *Oncorhynchus kisutch*
in the Khabarovsk Region****Vladimir I. Ostrovsky**Khabarovsk branch of VNIRO (KhabarovskNIRO),
13a, Amursky Boulevard, Khabarovsk, 680038, Russia

Ph.D., head of department, Ostrovskiy@khabarovsk.vniro.ru, ORCID 0000-0003-2576-4413

Abstract. Reasons for deviations in actual number of sexually mature offspring from the parent-offspring ratio described by Ricker equation are investigated for coho salmon in the Okhotsk district. The deviations are well explained by variability of air temperature and precipitation during the feeding period of juveniles in rivers. Combined influence of the number of parents and weather conditions in the freshwater period of life explains more than 90 % of variability for coho salmon year-class strength. The influence of weather factors is realized possibly through conditions of nutrition and growth of juveniles. The results are discussed in comparison with similar studies of some populations of pink and chum salmon.

* Островский Владимир Иванович, кандидат биологических наук, заведующий отделом, Ostrovskiy@khabarovsk.vniro.ru, ORCID 0000-0003-2576-4413.

© Островский В.И., 2024

Keywords: pacific salmon, *Oncorhynchus kisutch*, Okhotsk Sea, year-class, weather factor

For citation: Ostrovsky V.I. Patterns of reproduction for coho salmon *Oncorhynchus kisutch* in the Khabarovsk Region, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 3, pp. 568–579. (In Russ). DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-568-579. EDN: RKLLPU.

Введение

Численность поколений лососей, как и всех животных, зависит от численности родителей и множества внешних факторов, влияющих на выживаемость потомства. В результате абстрагирования связи численности потомков с численностью родителей разработаны теоретические модели «родители–потомки» [Рикер, 1979; Biverton, 1994], внесшие заметный вклад в развитие теории динамики численности лососей.

Тихоокеанские лососи относятся к территориальным животным, во время нереста они конкурируют за участки, пригодные для постройки гнезд [Семенченко, 1988; Паренский, 1992; Чебанов, 1994; и др.]. Территориальное поведение приводит к уменьшению рождаемости животных по мере роста плотности производителей [Бигон и др., 1989], не являясь исключением и тихоокеанские лососи [Островский, Семенченко, 1985; Паренский, 1989; Подлесных, 2000; и др.]. По этой причине связь численности потомков с численностью родителей территориальных животных в графическом отображении имеет вид купола [Бигон и др., 1989]. В отношении тихоокеанских лососей для описания этой связи приемлема теоретическая модель У.Е. Рикера [Островский, 2021], но степень приближения фактической численности потомков к теоретической численности зависит от условий воспроизводства.

Адекватное описание реальной динамики численности потомков однофакторной теоретической моделью возможно лишь при относительном постоянстве условий воспроизводства, но на численность поколений лососей влияют десятки внешних факторов и сотни возможных вариантов их сочетаний [Коновалов, 1985]. Динамика численности поколений япономорской горбуши Приморского края [Островский, Лысенко, 2024], Хабаровского края [Островский, Козлова, 2023], амурской горбуши [Островский, 2023] и кеты Охотского района [Островский, 2022] хорошо объяснима изменчивостью численности родителей и в основном количеством осадков, определяющих водный режим нерестовых рек.

По данным Охотской лаборатории Хабаровского филиала ВНИРО кижуч *Oncorhynchus kisutch* живет в пресной воде дольше горбуши и кеты, возрастной состав половозрелого кижуча в Хабаровском крае примерно на 80 % состоит из рыб, проживших в реках 1, около 20 % — 2, менее 1 % — 3 года.

Цель работы — выявление причин отклонений фактической численности потомков кижуча от их модельной численности, описываемой уравнением У.Е. Рикера, что необходимо для развития методов прогнозирования динамики численности кижуча и представляет интерес в плане сравнения с аналогичными исследованиями закономерностей воспроизводства тихоокеанских лососей с коротким периодом пребывания в пресной воде.

Материалы и методы

В Хабаровском крае кижуч воспроизводится в основном в реках Охотского района. Его доля в уловах тихоокеанских лососей в этом районе относительно невелика, в текущем веке по биомассе она составила около 6 %.

Настоящая работа основана на данных 2003–2023 гг. Учитывая, что продолжительность жизни кижуча составляет шесть лет, в ней рассмотрены 16 поколений кижуча 2003–2018 гг., полностью вернувшихся на нерест. В среднемноголетнем плане доля рыб в возрасте 4+ лет (5 лет от года нереста) близка к 0,3 %, приняв ее равной 0, в расчет включили численность практически полностью вернувшегося из моря поколения 2019 г. Поэтому ряды соотношения численности родителей и потомков состоят из 17 пар наблюдений (рис. 1).



Рис. 1. Динамика численности родителей и потомков кижуча

Fig. 1. Dynamics of the parents and progeny number for coho salmon

Численность рыб, возвращающихся из моря в конкретном году (подход), и их возрастной состав оценивали сотрудники Охотской лаборатории Хабаровского филиала ВНИРО. Численность рыб, зашедших в реки, рассчитывали на основе анализа статистики неводных уловов [Таразанов и др., 2008]. Их оценка в сумме с оценкой численности выловленных рыб в морском прибрежье дает представление о численности подхода, а разность численности подхода и суммарного количества выловленных — о численности родителей. Сведения по вылову в весовом выражении предоставлены Амурским территориальным управлением Федерального агентства по рыболовству, численность выловленных рыб рассчитывали делением биомассы улова на среднюю массу тела одной рыбы, известную из биологического анализа рыб в улове. После определения возрастного состава рыб определяли абсолютную численность особей разных поколений, а суммированием численности рыб одного и того же поколения в подходах смежных лет оценивали численность потомков.

Сведения по параметрам погоды приведены на сайте «Погода и климат» (www.pogodaiklimat.ru, метеорологический пункт пос. Охотск, дата обращения 10.02.2024). В работе использованы методы пошагового нелинейного регрессионного и дисперсионного анализов [Дрейпер, Смит, 2007]. Значения коэффициентов уравнений подобраны итерационными методами с помощью пакета статистических программ SYSTAT.

Во всех уравнениях и в таблице: $a-d$ — коэффициенты; R^2_c — скорректированный коэффициент детерминации; F — критерий Фишера; p — уровень значимости; $s.e.$ — стандартная ошибка; As и Ex — асимметрия и эксцесс распределения остатков уравнений; Dg , Dc — соответственно остаточная и общая скорректированные суммы квадратов отклонений; k — число степеней свободы; M — среднее значение; $WAPE$ — взвешенная абсолютная процентная ошибка уравнения.

Стандартные ошибки коэффициентов асимметрии (As) и эксцесса (Ex) для всех уравнений равны соответственно 0,548 и 1,044. Т-критерий Стьюдента рассчитывали делением значений коэффициентов асимметрии и эксцесса на их ошибки, гипотезу о соответствии распределений остатков уравнений распределению Гаусса принимали при $T < 3$. Разведочный анализ проводили методом перебора всех вариантов связи зависимых переменных с факторными переменными на диаграммах рассеяния, построенных в среде Microsoft Excel и сглаженных полиномом третьей степени.

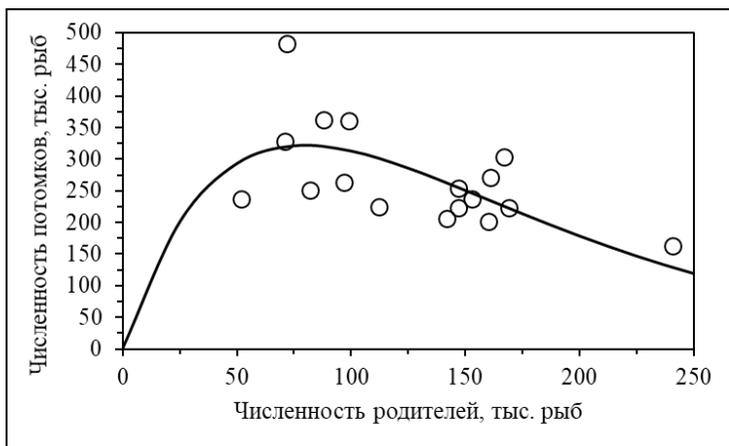
Результаты и их обсуждение

Связь численности потомков (R , тыс. экз.) кижуча с численностью родителей (P , тыс. экз.) удовлетворительно (рис. 2) аппроксимируется уравнением Рикера:

$$R = a \cdot P \cdot \exp\left(-\frac{P}{b}\right). \quad (1)$$

Рис. 2. Зависимость численности потомков кижуча от численности родителей, сглаженная уравнением (1)

Fig. 2. Dependence of the number of coho salmon progeny on the number of parents, smoothed by equation (1)

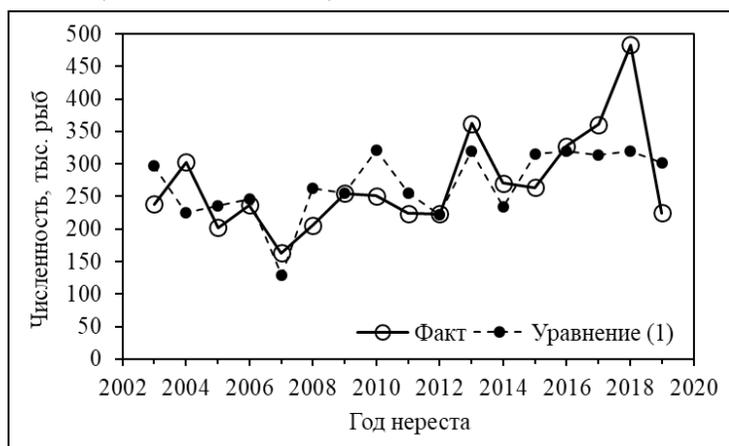


Значения коэффициентов этого и прочих уравнений, а также результаты дисперсионного анализа и анализа остатков приведены в таблице. Изменчивостью численности родителей объяснимо 35,9 % дисперсии численности потомков ($R^2_c = 0,359$), регрессия статистически значима ($F = 8,401, p = 0,011$), а распределение остатков не противоречит закону нормального распределения (значения T_{As} и $T_{Ex} < 3$).

В некоторые годы численность потомков, рассчитанная по уравнению (1), близка к фактической численности, но иногда ошибка расчета превышает 50 % (рис. 3). В целом точность модели невысока ($WAPE = 17,359\%$).

Рис. 3. Фактическая и расчетная (уравнение (1)) динамика численности поколений кижуча

Fig. 3. Actual and modeled with Equation (1) dynamics of coho salmon year-classes



В разведочном анализе было установлено, что кратность отклонений фактической численности потомков от численности, рассчитанной по уравнению (1) (рис. 2, 3), положительно коррелирует со средней температурой воздуха в феврале, мае и ноябре первого года жизни молоди в реке. Связь суммы средних температур в этих месяцах (T , °C, далее температура воздуха) с кратностью отклонений уравнения (1) ($D1$) удовлетворительно (рис. 4, см. таблицу) аппроксимируется уравнением (2):

$$D1 = a \cdot \exp(c \cdot T). \quad (2)$$

Коэффициент парной корреляции Пирсона между переменными P и T равен 0,098 при критическом значении для 95 %-ного уровня значимости, равном 0,480 ($n = 17$). Отсутствие связи этих переменных позволяет рассматривать их в качестве независимых факторов. Дополнение уравнения (1) факторной переменной T практически вдвое увеличивает объясненную долю дисперсии численности поколений. Уравнение (3), включающее обе факторные переменные, представлено в виде

$$R = a \cdot P \cdot \exp\left(-\frac{P}{b} + c \cdot T\right). \quad (3)$$

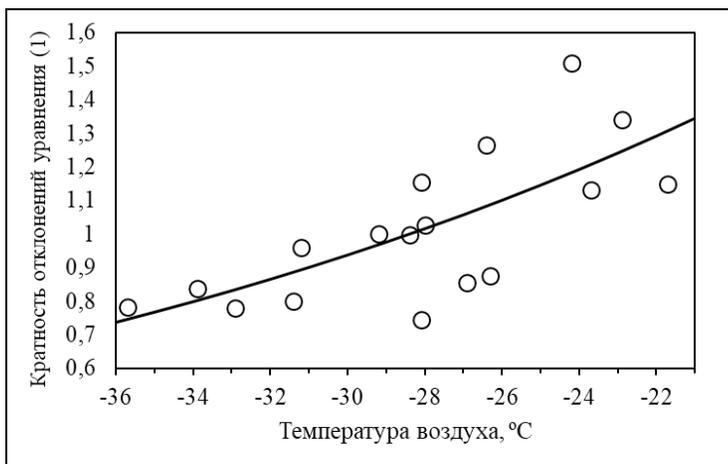


Рис. 4. Зависимость кратности отклонений уравнения (1) от средней температуры воздуха, сглаженная уравнением (2). Пояснения в тексте

Fig. 4. Deviations of the coho salmon actual recruitment from the model (Equation 1) on mean air temperature smoothed with Equation (2). See details in the Table and in the text

Скорректированный коэффициент детерминации этого уравнения равен 0,7, взвешенная абсолютная ошибка уменьшилась до 11,909 % (см. таблицу).

Связь численности потомков кижуча, рассчитанной по уравнению (3) (RT), с численностью родителей при различной температуре воздуха представлена на рис. 5.

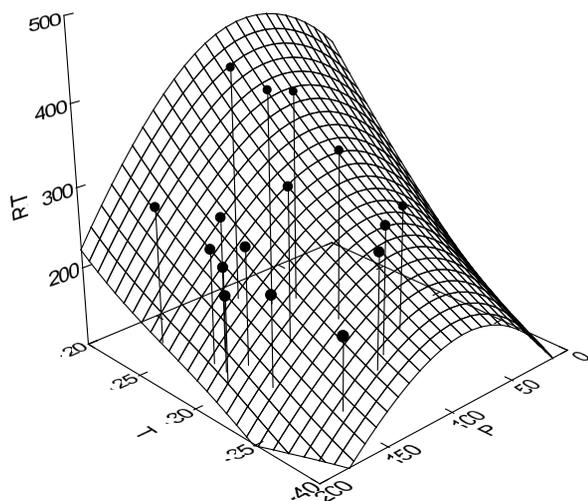


Рис. 5. Модельная (уравнение (3)) зависимость численности потомков кижуча (RT , тыс. рыб) от численности родителей (P , тыс. рыб) и температуры воздуха (T , °C), пояснение в тексте

Fig. 5. Dependence of the modeled with Equation (3) number of coho salmon progeny (RT , 10^3 ind.) on the number of parents (P , 10^3 ind.) and air temperature (T , °C). See explanation in the text

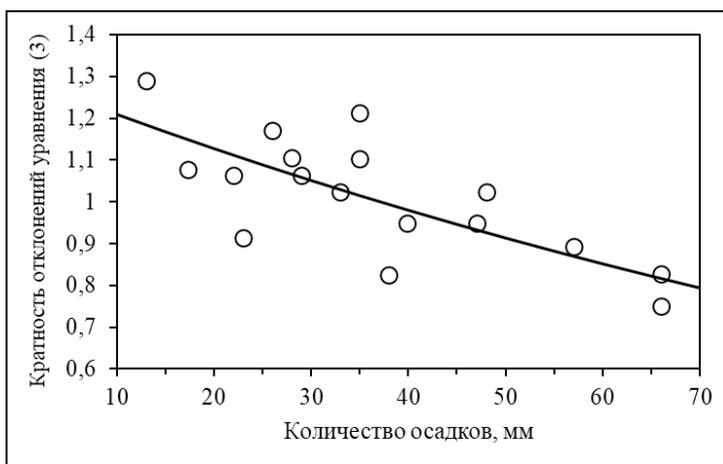
После устранения влияния на численность потомков численности родителей и температуры воздуха отчетливо выявляется отрицательная связь зависимой переменной с максимальным суточным количеством осадков в ноябре первого года жизни (возраст 0+ лет), в апреле второго года жизни (возраст 1+ лет) и в мае третьего года жизни (возраст 2+ лет) в пресной воде. Учитывая одинаковую направленность связей, факторную переменную выразили суммарным количеством суточных максимумов осадков в этих месяцах (MO , мм, далее — количество осадков). Коэффициенты парной корреляции Пирсона между влияющими переменными уравнения (3) и переменными, характеризующими количество осадков, меньше критических значений для 95 %-ного уровня статистической значимости.

Кратность отклонений фактической численности потомков кижуча от численности, рассчитанной по уравнению (3) ($D3$), удовлетворительно ($R^2_c = 0,543$, $F = 17,283$, $p < 0,001$) (см. таблицу, рис. 6) описывает уравнение (4):

$$D3 = a \cdot \exp(-d \cdot MO). \quad (4)$$

Рис. 6. Зависимость кратности отклонений уравнения (3) от количества осадков, пояснения в тексте

Fig. 6. Dependence of the deviations of Equation (3) on the amount of precipitation. See explanations in the text



Совместным влиянием трех факторных переменных, выраженных уравнением (5):

$$R = a \cdot P \cdot \exp\left(-\frac{P}{b} + c \cdot T - d \cdot MO\right), \quad (5)$$

объяснимо 92,6 % изменчивости численности потомков. Оно с высокой вероятностью статистически значимо, распределение остатков близко к закону нормального распределения (см. таблицу). Теоретическая численность потомков, рассчитанная по уравнению (5), в среднем равна $270,121 \pm 18,280$, фактическая — $270,353 \pm 18,769$, практически одинаковы и дисперсии сравниваемых рядов ($F = 1,054$), в целом уравнение (5) адекватно и хорошо имитирует фактическую динамику (рис. 7).

Значения коэффициентов и результаты анализа уравнений (1–5)
Coefficients value in Equations (1–5) and results of the equations analysis

Коэффициент, критерий	Уравнение (№)				
	1	2	3	4	5
<i>a</i>	10,964	3,119	34,431	1,297	57,581
<i>b</i>	79,804	–	78,857	–	81,615
<i>c</i>	–	0,040	0,040	–	0,050
<i>d</i>	–	–	–	0,007	0,008
Дисперсионный анализ уравнений					
D_c	95819,880	0,769	95819,880	0,338	95819,880
k_c	16	16	16	16	16
D_r	61447,61	0,374	28760,100	0,155	7061,239
k_r	15	15	14	15	13
R^2_c	0,359	0,514	0,700	0,543	0,926
<i>F</i>	8,401	15,864	16,333	17,823	54,225
<i>p</i>	0,011	0,001	$2 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-7}$
s.e.	66,250	0,163	47,035	0,105	24,258
WAPE, %	17,359	11,649	11,909	7,150	5,866
Анализ остатков уравнений					
<i>M</i>	0,984	0,000	1,324	0,000	0,232
s.e.	15,028	0,037	10,277	0,024	5,095
<i>As</i>	1,027	0,221	0,560	–0,248	1,188
T_{As}	1,875	0,404	1,022	–0,453	–2,168
<i>Ex</i>	1,446	0,087	1,515	0,284	1,272
T_{Ex}	1,385	0,083	1,451	0,272	1,218

Для проверки чувствительности модели рассчитали численность потомков при численности родителей, равной 81,615 тыс. рыб (точка максимума кривой Рикера).

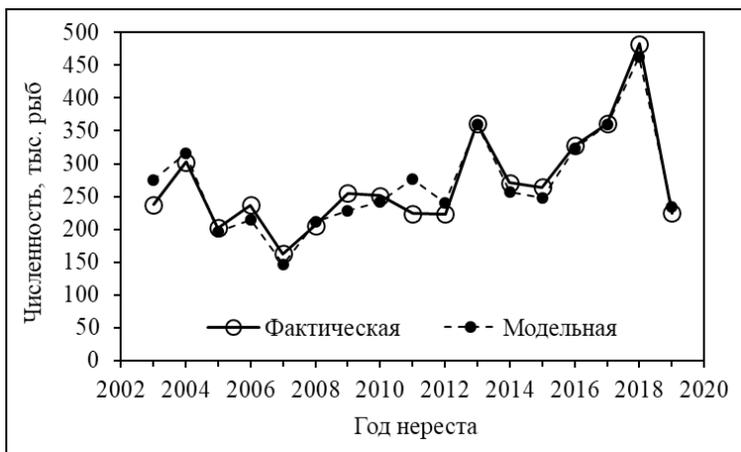


Рис. 7. Динамика фактической и модельной (уравнение (5)) численности потомков кижуча

Fig. 7. Actual and modeled with Equation (5) dynamics of the year-classes for coho salmon

Значение переменной MO приняли равным средней многолетней в период исследования — 39,122 мм. При наибольшем из наблюдавшихся значений переменной T (минус 21,7 °С) численность потомков в среднем равна 427,190 тыс. рыб, при наименьшем (минус 35,7 °С) — 81,615 рыб. Кратность отношения наибольшего значения к наименьшему значению равна 2,014.

Аналогичный расчет численности потомков при постоянной температуре воздуха (на уровне среднего значения, равного 28,09 °С), но при минимальном из наблюдавшихся значений фактора MO (13 мм): численность потомков в среднем равна 382,391 тыс. рыб, при его максимальном значении (241 мм) — 218,483 тыс. рыб. Максимальная численность потомков в этом варианте расчета больше минимальной численности в 1,751 раза, т.е. в рассматриваемом периоде изменчивость численности кижуча оказалась более чувствительной к вариациям температуры воздуха.

При самом благоприятном для воспроизводства сочетании погодных факторов (максимальное значение фактора T , минимальное значение фактора MO) и численности родителей, равной 81,615 тыс. рыб, расчетная численность потомков в среднем равна 526,476 тыс. рыб. При такой же численности родителей, но самых неблагоприятных погодных условиях модельная численность потомков в среднем в 3,5 раза меньше (151,746 тыс. рыб), т.е. теоретически, при равной численности родителей, в зависимости от сочетания градаций погодных факторов в рассматриваемом периоде численность потомков могла различаться более чем в 3 раза, что свидетельствует о рисках прогнозирования численности потомков на основе однофакторных моделей.

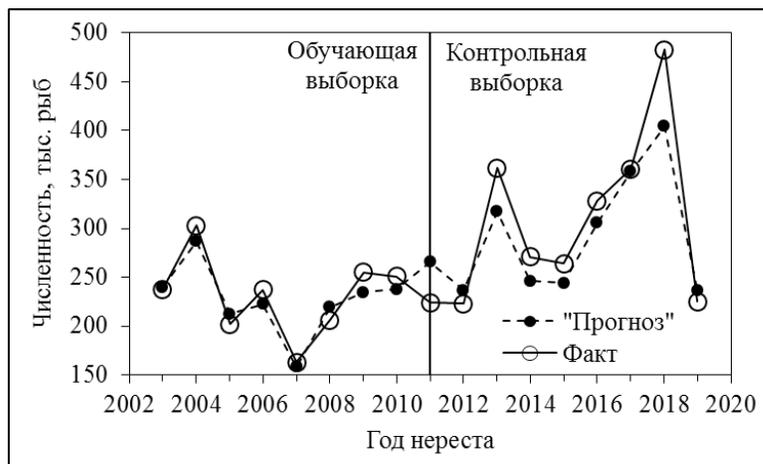
Устойчивость модели проверяли имитацией прогноза численности поколений, значения коэффициентов подбирали для данных 2003–2011 гг. (обучающая выборка). Подставляя известные значения факторных переменных, формирующих поколение 2012 г., рассчитали его численность. На следующем шаге в обучающую выборку включили данные 2012 г., вновь подбирали значения коэффициентов и спрогнозировали численность поколения 2013 г., так постепенно обучающую выборку увеличивали до 2018 г.

Такая процедура имитирует разработку реального прогноза численности потомков, а их известная численность позволяет судить о вероятной точности модели и ее устойчивости к вариациям входных данных. Имитация прогноза на 2012–2018 гг. уравнением (5) оказалась удовлетворительной (рис. 8): взвешенная абсолютная ошибка (WAPE) «прогноза» равна 8,7 %. Отметим, что этот показатель точности модели при аналогичной имитации прогноза на основе уравнения (3) равен 14,7 %, а на основе уравнения Рикера (1) — 22,3 %.

Дополнение уравнения (1) факторными переменными, характеризующими изменчивость погоды, увеличивает долю объясненной дисперсии численности потомков с

Рис. 8. Имитация прогноза численности поколений кижуча, пояснение в тексте

Fig. 8. Imitation for the forecast of coho salmon year-classes. See explanation in the text



35,9 до 92,6 %, что позволяет надеяться на лучшие результаты использования уравнения (5) в реальном прогнозировании.

Большая плодовитость тихоокеанских лососей, как и у других видов с экстенсивной формой воспроизводства, необходима для компенсации высокой смертности потомства на ранних стадиях жизненного цикла [Тюрин, 1972; Бигон и др., 1989; и др.]. Молодь горбуши и кеты Охотского района мигрирует в море в возрасте 0+ лет, молодь кижуча мигрирует на нагул в море в возрасте 1+...3+ лет. В материковых реках Охотского моря по численности кижуч, как правило, занимает третье место после горбуши и кеты [Марченко и др., 2013], т.е. чем дольше лососи живут в пресной воде, тем меньше их доживает до половозрелого состояния. Причем, согласно полученным результатам и литературным данным [Островский, 2022, 2023; Островский, Козлова, 2023; Островский, Лысенко, 2024], динамика численности кижуча, так же как горбуши и кеты, хорошо объяснима изменчивостью численности родителей и условий воспроизводства в пресноводной фазе жизни. В аспекте рассматриваемой проблемы это единственная общая закономерность воспроизводства кижуча из ранее изученных нами видов.

От захода на нерестилища и до миграции молоди горбуши и кеты Охотского района проходит около одного года, именно этот период оказывается критическим в формировании численности исследованных популяций (op. cit.) этих видов. Однако основное влияние погодных факторов на численность поколений кижуча сдвинуто на более поздние сроки. Нерестилища кижуча материкового побережья Охотского моря в большей степени приурочены к выходам глубинных подмерзлотных вод [Волобуев, Рогатных, 1997]. Разрушение нерестовых бугров паводками [Чупахин, 1975; Каев, 2018] маловероятно, поскольку наибольшее количество дождевых осадков в рассматриваемом районе выпадает в августе-сентябре, а кижуч нерестится в октябре-ноябре [Волобуев и др., 2016]. Надо полагать, причина малой чувствительности динамики численности кижуча к изменчивости погоды в период нереста и инкубации икры связана с менее зависимым от осадков и температуры воздуха водоснабжением нерестовых гнезд.

Отклонения численности поколений всех обследованных нами группировок горбуши и кеты (op. cit.) от уравнения Рикера наиболее тесно связаны с изменчивостью количества осадков. Во всех случаях связь численности потомков с количеством осадков положительная. Численность поколений кижуча тоже зависит от количества осадков, но эту связь лучше характеризует не их суммарное количество в том или ином месяце, а максимальное количество, выпадающее за одни сутки. В отличие от горбуши и кеты, связь численности поколений кижуча с признаком, характеризующим количество осадков, не положительная, а отрицательная и проявляется не в год нереста или инкубации икры, а позже.

Примечательно, что отрицательная связь количества осадков, выпадающих в феврале-марте первого года жизни в реке, с уловами кижуча через три года характерна и для кижуча р. Камчатка [Зорбиди, 2002], но в нашем случае связь прослеживается с численностью поколений, а не с уловами, с количеством осадков в ноябре первого года жизни, в апреле второго и мае третьего годов жизни в реке, а не в феврале-марте первого года. Кроме того, расчетным способом мы устранили влияние на численность поколений численности родителей. Возможно, различия в отклике численности потомков на количество осадков в отдаленных районах отчасти связано с региональной спецификой формирования водного режима нерестовых рек.

Конкретные механизмы реализации выявленной связи численности потомков кижуча с изменчивостью погодных условий неизвестны. Можно предположить, что количество весенних осадков влияет на уровень паводка и условия питания рыб, их рост и выживаемость [Леванидов, 1969; Рослый, 2002]. Не исключено, что при высоком паводке заливается пойма нерестовых рек, куда часть молоди вымывается и погибает после спада уровня воды. Сложнее объяснить связь численности поколений кижуча с максимальным количеством осадков в ноябре первого года жизни молоди в реке. Не исключено, что включение этой переменной в фактор *МО* избыточно, без нее коэффициент детерминации уравнения (5) уменьшается всего на 3 %.

В отличие от горбуши и кеты (ор. cit.), динамика численности поколений кижуча более чувствительна к изменчивости температуры воздуха, чем к признакам, характеризующим количество осадков, несмотря на то, что статистически значимая связь остатков уравнения (1) с температурой воздуха прослеживается лишь на первом году жизни молоди кижуча в реке, а с количеством осадков — от первого до третьего года. Оба фактора действуют в основном после периода инкубации икры, поэтому, вероятно, связь численности поколений кижуча с температурой воздуха реализуется опосредованно через температуру воды, которая влияет на развитие кормовой базы кижуча, темп его роста и, соответственно, на выживаемость.

Заключение

Численность половозрелых потомков кижуча удовлетворительно аппроксимируется уравнением Рикера. Отклонения фактических значений численности потомков от значений, рассчитанных по этому уравнению, зависят от изменчивости погодных факторов в пресноводном периоде жизни. Суммарным влиянием численности родителей, температуры воздуха и количества осадков объяснимо 92,6 % дисперсии численности потомков кижуча. Этот результат свидетельствует о том, что численность поколений кижуча, как и прочих исследованных нами видов лососей, практически полностью формируется в пресноводный период.

В отличие от исследованных популяций горбуши и кеты, связь численности поколений кижуча с погодными условиями во время нереста или инкубации икры не выявлена, что может быть объяснено меньшей изменчивостью водного режима нерестилищ во время нереста и инкубации икры. Изменчивость численности потомков кижуча, в противоположность горбуше и кете, в большей мере зависела от температуры воздуха и, следовательно, воды, чем от количества осадков. Связь численности потомков кижуча с температурой воздуха положительная, с количеством осадков — отрицательная. Влияние изменчивости погоды проявляется в период нагула молоди в реке, вероятно, связь реализуется через изменчивость выживаемости кижуча в реке в зависимости от условий питания и роста.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Выражаю глубокую признательность О.Б. Ткачевой, выполняющей основную рутинную работу методико-прогностического отдела. Это позволяет выделять больше времени для изучения закономерностей воспроизводства тихоокеанских лососей.

Благодарен также бывшим сотрудникам ХабаровскНИРО Е.В. Денисенко, С.Д. Пономареву, А.С. Пономареву, В.И. Таразанову, без их участия в сборе данных выполнить настоящую работу было бы невозможно.

The author is deeply grateful to O.V. Tkacheva, who performed the main routine work of the Methodic-Forecast department and saved his time for unraveling the patterns of pacific salmon reproduction, and also grateful to the former colleagues in KhabarovskNIRO E.V. Denisenko, S.D. Ponomarev, A.S. Ponomarev, and V.I. Tarazanov — the study could not be completed without their participation in the data collection.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The study was not supported by sponsors.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Работа проведена без непосредственного контакта с рыбами в качестве объекта исследования. Автор заявляет, что у него нет конфликта интересов.

The work was made without direct contact with fish as an object of study. The author declares that he has no conflict of interest.

Список литературы

Бигон М., Харпер Дж., Таунсед К. Экология. Особи, популяции и сообщества : учеб. — М. : Мир, 1989. — Т. 1. — 667 с. (Пер. с англ.)

Волобуев В.В., Овчинников М.В., Волобуев М.В. Особенности воспроизводства тихоокеанских лососей рода *Oncorhynchus* материкового побережья Охотского моря // Вопр. рыб-ва. — 2016. — Т. 17, № 3. — С. 296–316.

Волобуев В.В., Рогатных А.Ю. Условия воспроизводства лососей рода *Oncorhynchus* материкового побережья Охотского моря // Вопр. ихтиол. — 1997. — Т. 37, вып. 5. — С. 612–618.

Дрейпер Н.Р., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ : моногр. : пер. с англ. — Изд. 3-е. — М. : Издат. дом «Вильямс», 2007. — 912 с.

Зорбиди Ж.Х. К вопросу о влиянии некоторых климатических факторов на величину возвратов кижуча *Oncorhynchus kisutch* Walbaum (*Salmonidae*) р. Камчатка // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2002. — Вып. 6. — С. 203–208.

Каев А.М. Снижение численности горбуши (*Oncorhynchus gorbuscha*) в Сахалино-Курильском регионе как следствие действия экстремальных факторов среды // Изв. ТИНРО. — 2018. — Т. 192. — С. 3–14. DOI: 10.26428/1606-9919-2018-192-3-14.

Коновалов С.М. Факторы, лимитирующие численность и биомассу тихоокеанских лососей // Биологические исследования лососевых. — Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1985. — С. 5–25.

Леванидов В.Я. Воспроизводство амурских лососей и кормовая база их молоди в притоках Амура : Изв. ТИНРО. — 1969. — Т. 67. — 243 с.

Марченко С.Л., Волобуев В.В., Макаров Д.В. Биологическая структура кижуча *Oncorhynchus kisutch* (Walbaum) материкового побережья Охотского моря // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2013. — Вып. 29. — С. 70–83.

Островский В.И. Методические аспекты анализа кривых пополнения // Изв. ТИНРО. — 2021. — Т. 201, вып. 1. — С. 219–259. DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-219-259.

Островский В.И. Причины изменчивости урожайности поколений амурской горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) // Изв. ТИНРО. — 2023. — Т. 203, вып. 2. — С. 264–280. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-264-280. EDN: XXMBCA.

Островский В.И. Факторы, определяющие численность поколений кеты *Oncorhynchus keta* в Охотском районе // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 4. — С. 810–827. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-810-827. EDN: HXVMLB.

Островский В.И., Козлова Т.В. «Неблагодарная» горбуша. Случайность или закономерность? // Бюл. № 17 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО, 2023. — С. 152–158. DOI: 10.26428/losos_bull17-2023-152-158. EDN: VAMRKO.

Островский В.И., Лысенко А.В. Закономерности воспроизводства горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* материкового побережья Японского моря // Бюл. изучения тихоокеанских лососей

на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО, 2024. — № 18. — С. 202–208. DOI: 10.26428/losos_bull18-2024-202-208. EDN: GBOYPI.

Островский В.И., Семенченко Н.Н. Роль социального стресса в регуляции численности популяции нерки (*Oncorhynchus nerka* Walbaum) // Исследование и рациональное использование биоресурсов дальневосточных и северных морей СССР и перспективы создания технических средств для освоения неиспользуемых биоресурсов открытого океана : тез. докл. Всесоюз. совещ. — Владивосток : ТИНРО, 1985. — С. 48–49.

Паренский В.А. Зависимость эффективности нереста нерки *Oncorhynchus nerka* от особенностей поведения производителей на нерестилищах // Вопр. ихтиол. — 1989. — Т. 29, вып. 6. — С. 985–993.

Паренский В.А. Этология нереста нерки : моногр. — Владивосток : Дальнаука, 1992. — 113 с.

Подлесных А.В. Эндокринные аспекты плотностной регуляции численности нерки *Oncorhynchus nerka* в период нереста // Вопр. ихтиол. — 2000. — Т. 40, № 1. — С. 50–55.

Рикер У.Е. Методы оценки и интерпретация биологических показателей популяций рыб : моногр. — М. : Пищ. пром-сть, 1979. — 408 с. (Пер. с англ.)

Рослый Ю.С. Динамика популяций и воспроизводство тихоокеанских лососей в бассейне Амура : моногр. — Хабаровск : Хабар. кн. изд-во, 2002. — 210 с.

Семенченко Н.Н. Механизмы саморегуляции численности популяции нерки *Oncorhynchus nerka* // Вопр. ихтиол. — 1988. — Т. 28, № 1. — С. 44–52.

Таразанов В.И., Пономарев С.Д., Денисенко Е.В. Особенности нерестового хода лососей в реках Охотского района (Хабаровский край): динамика, сроки, оценка численности // Современное состояние водных биоресурсов : мат-лы науч. конф., посвящ. 70-летию С.М. Коновалова. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2008. — С. 414–418.

Тюрин П.В. «Нормальные» кривые переживания и темпов естественной смертности рыб как основа регулирования рыболовства // Изв. ГосНИОРХ. — 1972. — Т. 71. — С. 71–127.

Чебанов Н.А. Поведенческие механизмы плотностной регуляции у тихоокеанских лососей рода *Oncorhynchus* в нерестовый период. 1. Анализ результатов полевых экспериментов с производителями нерки *Oncorhynchus nerka* // Вопр. ихтиол. — 1994. — Т. 34, № 3. — С. 374–380.

Чухахин В.М. Естественное воспроизводство южнокурильской горбуши // Тр. ВНИРО. — 1975. — Т. 106. — С. 67–77.

Beverton R.J.H. Notes on the use of theoretical models in the study of the dynamics of exploited fish populations : Marine Fisheries Section. American Fisheries Society. Special Publication 1. — Beaufort, 1994. — 154 p.

References

Begon, M., Harper, J.L., and Townsend, C.R., *Ecology: Individuals, Populations and Communities*, Oxford: Blackwell, 1986, vol. 1.

Volobuev, V.V., Ovchinnikov, M.V., and Volobuev, M.V., Reproductive features of Pacific salmon genus *Oncorhynchus* of the continental coast of the Okhotsk Sea, *Vopr. Rybolov.*, 2016, vol. 17, no. 3, pp. 296–316.

Volobuev, V.V. and Rogatnykh, A.Yu., Conditions for the reproduction of salmon of the genus *Oncorhynchus* on the mainland coast of the Sea of Okhotsk, *Vopr. Ikhtiол.*, 1997, vol. 37, no. 5, pp. 612–618.

Draper, N. and Smith, H., *Applied regression analysis*, New York: John Wiley & Sons, 1998.

Zorbidi, Zh.Kh., On the influence of some climatic factors on the amount of returns of coho salmon *Oncorhynchus kisutch* Walbaum (*Salmonidae*) Kamchatka River, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2002, vol. 6, pp. 203–208.

Каев, А.М., Decreasing of the pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) abundance in Sakhalin-Kuril region as consequence of extreme environmental factors impact, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2018, vol. 192, pp. 3–14. doi 10.26428/1606-9919-2018-192-3-14

Konovalev, S.M., Factors limiting the Pacific salmon abundance and biomass, in *Biologicheskije issledovaniya lososevykh* (Biological Studies of Salmonids), Vladivostok: Dal'nevost. Nauchn. Tsentr, Akad. Nauk SSSR, 1985, pp. 5–25.

Levanidov, V.Ya., The reproduction of Amur salmon and the forage supply of their juveniles in the tributaries of the Amur River, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1969, vol. 67.

Marchenko, S.L., Volobuev, V.V., and Makarov, D.V., Biological structure of coho *Oncorhynchus kisutch* (Walbaum) of the continental sea-shore of the Sea of Okhotsk, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2013, vol. 29, pp. 70–83.

Ostrovsky, V.I., Methodological aspects of the stock-recruitment curve analysis, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2021, vol. 201, no. 1, pp. 219–259. doi 10.26428/1606-9919-2021-201-219-259

Ostrovsky, V.I., Reasons for variance of year-class strength for the Amurpink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2023, vol. 203, no. 2, pp. 264–280. doi 10.26428/1606-9919-2023-203-264-280. EDN: XXMBCA.

Ostrovsky, V.I., Factors controlling the year-classes strength for chum salmon *Oncorhynchus keta* in the Okhotsk district, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 4, pp. 810–827. doi 10.26428/1606-9919-2022-202-810-827. EDN: HXVMLB.

Ostrovsky, V.I. and Kozlova, T.V., «Unfaithful» Pink salmon. Random or regularity, in *Byulleten' no. 17 izucheniya tikhookeanskikh lososei na Dal' nem Vostoke* (Bulletin No. 17 for the Study of Pacific Salmon in the Far East), Vladivostok: TINRO, 2023, pp. 152–158. doi 10.26428/losos_bull17-2023-152-158. EDN: VAMRKO.

Ostrovsky, V.I. and Lysenko A.V., Patterns of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* reproduction on the mainland coast of Japan Sea, in *Byulleten' izucheniya tikhookeanskikh lososei na Dal' nem Vostokie* (Bulletin on the study of Pacific salmon in the Far East), Vladivostok: TINRO, 2024, no. 18, pp. 202–208. doi 10.26428/losos_bull18-2024-202-208. EDN: GBOYPI.

Ostrovsky, V.I. and Semenchenko, N.N., The role of social stress in the regulation of sockeye salmon population (*Oncorhynchus nerka* Walbaum), in *Vses. Soveshch. "Issledovanie i ratsional'noe ispol'zovanie bioresursov dal'nevostochnykh i severnykh morei SSSR i perspektivy sozdaniya tekhnicheskikh sredstv dlya osvoeniya neispol'zuemykh bioresursov otkrytogo okeana"*, *Tezisy dokl.* (Proc. All.–Sov. Meet. "Research and Rational Management of Bioresources of the Far Eastern and Northern Seas of the USSR and Prospects of Creation of Technical Means for Development of Unused Bioresources of the Open Ocean), Vladivostok: TINRO, 1985, pp. 48–49.

Parensky, V.A., Spawning efficiency of sockeye salmon, *Oncorhynchus nerka*, as dependent on the behaviour pattern of spawners on spawning grounds, *Vopr. Ikhtiol.*, 1989, vol. 29, no. 6, pp. 985–993.

Parensky, V.A., *Etologiya neresta nerki* (Ethology of Sockeye Salmon Spawning), Vladivostok: Dal'nauka, 1992.

Podlesnykh, A.V., Some aspects of energy metabolism in the spawning red salmon *Oncorhynchus nerka*, *J. Ichthyol.*, 2000, vol. 40, no. 2, pp. 131–133.

Ricker, W.E., *Computation and Interpretation of Biological Statistics of Fish Populations*, Ottawa: Dep. Environ. Fish. Mar. Serv., 1975.

Roslyi, Yu.S., *Dinamika populyatsii i vosproizvodstvo tikhookeanskikh lososei v basseine Amura* (Dynamics of Populations and Reproduction of Pacific Salmon in the Amur River Basin), Khabarovsk: Khabarovskoye Knizhnoye Izd., 2002.

Semenchenko, N.N., Mechanisms of abundance self-regulation in the sockeye salmon *Oncorhynchus nerka*, *Vopr. Ikhtiol.*, 1988, vol. 28, no. 1, pp. 44–52.

Tarazanov, V.I., Ponomarev S.D., and Denisenko, E.V., Features of the spawning run of salmon in the rivers of the Okhotsk region (Khabarovsk Territory): dynamics, timing, population estimates, in *Mater. nauchn. konf., posvyashch. 70-letiyu S.M. Konovalova "Sovremennoe sostoyanie vodnykh bioresursov"* (Proc. Sci. Conf. 70th anniversary of S.M. Konovalova "Current state of aquatic biological resources"), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2008, pp. 414–418.

Tyurin, P.V., "Normal" curves of the experience and rate of natural mortality of fish as a basis for fisheries regulation, *Izv. Gos. Nauchno-Issled. Inst. Ozern. Rechn. Rybn. Khoz.*, 1972, vol. 71, pp. 71–127.

Chebanov, N.A., Behavioral mechanisms of density regulation in Pacific salmon of the genus *Oncorhynchus* during the spawning period. 1. Analysis of the results of field experiments with producers of sockeye salmon *Oncorhynchus nerka*, *J. Ichthyol.*, 1994, vol. 34, no. 3, pp. 374–380.

Chupakhin, V.M., Natural reproduction of the South Kuril pink salmon, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1975, vol. 106, pp. 67–77.

Beverton, R.J.H., Notes on the use of theoretical models in the study of the dynamics of exploited fish populations, *Marine Fisheries Section. American Fisheries Society. Special Publication 1*, Beaufort, 1994.

Поступила в редакцию 26.07.2024 г.

После доработки 14.08.2024 г.

Принята к публикации 13.09.2024 г.

The article was submitted 26.07.2024; approved after reviewing 14.08.2024; accepted for publication 13.09.2024

Научная статья

УДК [597.555.5:639.2.053](265.51)

DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-580-601

EDN: STHVZE



СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАПАСОВ И ПРОМЫСЛА НАВАГИ
ELEGINUS GRACILIS (TILESIIUS, 1810) В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ
БЕРИНГОВА МОРЯ

О.В. Новикова¹, Л.А. Черноиванова^{2*}¹ Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО),

683000, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Набережная 18;

² Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),

690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

Аннотация. На основе результатов донных траловых съёмок и промысловых уловов в 2003–2023 гг. приведены некоторые черты биологии наваги, состояние её запасов и промысла. В юго-западной части Берингова моря общий запас наваги в 2021 г. составил 100,4 тыс. т, в северо-западной части в 2022 г. — 13,5 тыс. т, у побережья Чукотского полуострова (северная часть Анадырского залива) в 2017 г. — 0,14 тыс. т. По модельным расчетам в юго-западной части Берингова моря общий запас наваги в 2023 г. — 114 тыс. т, а в северо-западной части по методу прямого учёта — 20 тыс. т. За исследуемый период средний улов наваги в юго- и северо-западной частях Берингова моря составил соответственно 6,9 и 0,9 тыс. т. В северной части Анадырского залива (Чукотская зона) промысел наваги отсутствует.

Ключевые слова: тихоокеанская навага, западная часть Берингова моря, распределение, запасы, промысел, размерно-возрастной состав

Для цитирования: Новикова О.В., Черноиванова Л.А. Современное состояние запасов и промысла наваги *Eleginus gracilis* (Tilesius, 1810) в западной части Берингова моря // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 3. — С. 580–601. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-580-601. EDN: STHVZE.

Original article

Current state for stocks and fishery of saffron cod *Eleginus gracilis* (Tilesius, 1810)
in the western Bering Sea

Olga V. Novikova*, Ludmila A. Chernoiivanova**

* Kamchatka branch of VNIRO (KamchatNIRO), 18, Naberezhnaya, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683000, Russia

** Pacific branch of VNIRO (TINRO), 4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia

* Ph.D., leading researcher, o.novikova@kamniro.vniro.ru, ORCID 0009-0001-1381-7509

** leading specialist, ludmila.chernoiivanova@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0004-6736-1246

* Новикова Ольга Владимировна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, o.novikova@kamniro.vniro.ru, ORCID 0009-0001-1381-7509; Черноиванова Людмила Алексеевна, ведущий специалист, ludmila.chernoiivanova@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0004-6736-1246.

© Новикова О.В., Черноиванова Л.А., 2024

Abstract. State of stocks and fishery and some general features of biology are considered for saffron cod in the Bering Sea on results of bottom trawl surveys and commercial fishery statistics in 2000–2023. In 2023, the stock in the southwestern part of the sea is estimated in $114 \cdot 10^3$ t, in the northwestern part — in $20 \cdot 10^3$ t, and at the coast of Chukotka Peninsula — in $0.14 \cdot 10^3$ t. The average annual catch of saffron cod in the southwestern and northwestern parts of Bering Sea is amounted in $8.5 \cdot 10^3$ t and $1.1 \cdot 10^3$ t, respectively. The saffron cod fishery at Chukotka is absent.

Keywords: saffron cod, western Bering Sea, fish distribution, fish stock, fishery, size composition, age composition

For citation: Novikova O.V., Chernoiivanova L.A. Current state for stocks and fishery of saffron cod *Eleginus gracilis* (Tilesius, 1810) in the western Bering Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 3, pp. 580–601. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-580-601. EDN: STHVZE.

Введение

Тихоокеанская навага *Eleginus gracilis* (Tilesius, 1810) — представитель семейства тресковых (Gadidae) — относится к числу важных промысловых рыб прибрежного комплекса дальневосточных морей, где распределяется дискретно, образуя локальные группировки в водах Сахалина и Приморья, у северных Курильских островов, в северной части Охотского моря, у берегов западной и восточной Камчатки, в также в заливах западной части Берингова моря [Семененко, 1971; Сафронов, 1986; Толстяк, 1990; Ракитина, 2001; Черешнев и др., 2001; Новикова, 2002, 2007, 2010, 2020; Василец, Доценко, 2003; Ракитина, Смирнов, 2018; Ившина, Метленков, 2022]. Навага, как холодолюбивый вид, обитает также и на границе арктических вод. В северо-западной части Берингова моря она распространена повсеместно вдоль всего Корякского нагорья от мыса Олюторского до мыса Наварин [Датский и др., 2000; Антонов, Новикова, 2003; Датский, Андронов, 2007]. Биология наваги, обитающей у побережья Корякского нагорья, в отличие от карагинской, изучена недостаточно полно. Это связано как с удаленностью и труднодоступностью данного района, так и со второстепенным промысловым статусом данного объекта лова. Большинство публикаций о наваге этого района ограничиваются описанием некоторых её биологических аспектов (размерным составом промысловых уловов, соотношением полов, стадий зрелости) [Датский и др., 2000, 2022; Балыкин, 2006; Трофимов, Починков, 2014; Трофимов, 2015]. Однако сведения в печати о величине ресурсов наваги Западно-Берингоморской зоны, непосредственно в олюторско-наваринском районе, ограничены [Датский, 2019; Датский, Самойленко, 2021], как и информация о состоянии её промысла. В настоящей работе предпринята попытка восполнить этот пробел.

Цель статьи — проанализировать современное состояние запаса и промысла тихоокеанской наваги, обитающей в юго- и северо-западной частях Берингова моря с 2003 по 2023 г., охарактеризовав условия её обитания, пространственно-батиметрическое распределение, сезонную и многолетнюю динамику уловов, а также особенности биологии.

Материалы и методы

Районом исследований является акватория западной части Берингова моря, включающая участки, располагающиеся в следующих координатах:

юго-западная часть Берингова моря (61021 Карагинская подзона) (ЮЗБ) — $58^{\circ}02' - 60^{\circ}21'N$ $162^{\circ}16' - 169^{\circ}45'E$;

северо-западная часть Берингова моря (6101 Западно-Берингоморская зона) (СЗБ) — $60^{\circ}52' - 64^{\circ}40'N$ $172^{\circ}56'E - 175^{\circ}00'W$;

северо-западная часть Берингова моря (6701 Чукотская зона) (СЗБЧ) — $62^{\circ}51' - 64^{\circ}26'N$ $174^{\circ}56' - 172^{\circ}59'W$ (рис. 1).

Поскольку параметры выполненных в разные годы съемок в юго-западной части Берингова моря различались, плотность распределения рыб и величину запасов оце-

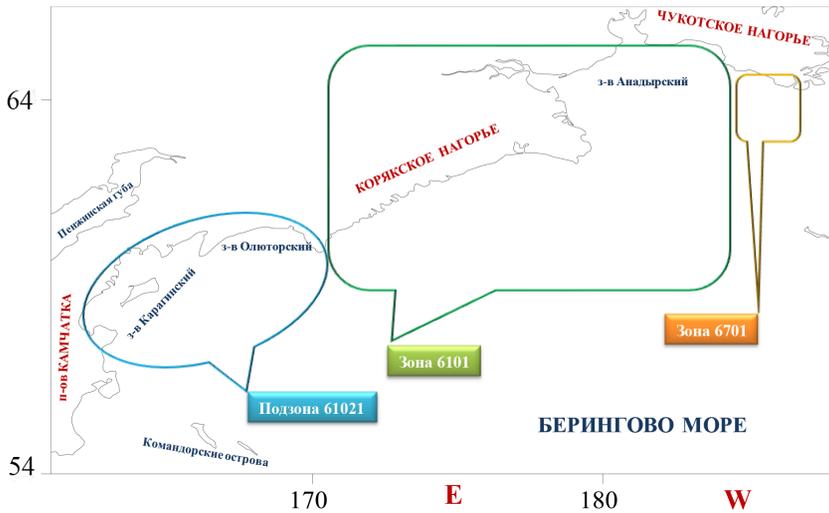


Рис. 1. Районы проведения учётных работ в западной части Берингова моря
Fig. 1. Surveyed areas in the western Bering Sea

нивали для стандартизированного выбранного полигона методом зональных средних [Аксютина, 1968], предварительно разбив его на полигоны Тиссена (Thiessen) [Варкентин и др., 2019].

Для оценки численности и биомассы наваги в юго-западной части Берингова моря в 2003–2023 гг. была применена когортная модель «Синтез» [Ильин и др., 2014]. Биомассу и численность наваги северо-западной части Берингова моря в 2017, 2019–2021 гг. рассчитывали по площадям ячеек Вороного [Борисовец и др., 2003]. Коэффициент уловистости тралов в исследуемых районах принимали равным 0,4.

Источником сведений о промысле являются данные судовых суточных донесений (ССД) из отраслевой системы мониторинга водных биологических ресурсов, наблюдения и контроля за деятельностью промысловых судов (ОСМ) за 2003–2023 гг. Для доступа к ОСМ и первичной обработки данных применяли программу «FMS analyst»*.

Размерный состав рыб, определенный по результатам массовых промеров, пересчитан на возрастной по многолетнему размерно-возрастному ключу, составленному по отолитным определениям возраста отдельно для юго-западной (около 3,5 тыс. экз.) и северо-западной (около 2,0 тыс. экз.) частей Берингова моря [Рикер, 1979]. Для размерных и возрастных составов наваги рассчитывали средний показатель и ошибку [Лакин, 1990].

В работе использованы материалы учётных донных траловых съёмок, выполненных в 2012–2021 гг. в Беринговом море, а также многолетние данные биологической статистики из промысловых уловов снюрревода (табл. 1 и 2).

Результаты и их обсуждение

Юго-западная часть Берингова моря (Жагинская подзона)

Биологическая характеристика. Характер распределения тихоокеанской наваги в районе юго-западной части Берингова моря, включающей в себя заливы Озерный, Жагинский и Олюторский, относительно стабилен в межгодовом аспекте [Новикова, 2001]. Так, в преднерестовый и нерестовый периоды (в ноябре-апреле) навага распределяется в самой прибрежной зоне на минимальных глубинах в ограниченных районах (в прол. Литке,

* Vasilets P.M. FMS analyst — computer program for processing data from Russian Fishery Monitoring System. 2015. DOI: 10.12140/RG.2.1.5186.0962.

Таблица 1

Материалы донных траловых съёмок

Table 1

List of the bottom trawl surveys in the western Bering Sea in 2012–2021

Год	Район	Судно	Кол-во тралений	Тип трала	Глубина, м	Сезон работ
2012	ЮЗБ	НИС «Профессор Пробагов»	56	27,1/33,7	20–176	Октябрь–ноябрь
	СЗБ	НИС «Профессор Кагановский»	290	27,1/24,4	20–447 (3800)	Август–октябрь
2013	ЮЗБ	СТР «Пограничник Кирдищев»	52	27,1/33,7	25–143	Октябрь
2014	ЮЗБ	То же	33	«	37–128	Ноябрь
2015	СЗБ	НИС «ГИПРО»	233	«	20–788	Июнь–август
2016	ЮЗБ	СТР «Потапово»	73	27,1/24,4	20–260	Июнь
	СЗБ		125		35–302	Май–июнь
2017	ЮЗБ	НИС «Бухоро»	46	27,1/24,4	28–291	Август
	СЗБ		192		22–386	Июнь–июль
	СЗБЧ		15		43–80	То же
2019	ЮЗБ	НИС «Профессор Леванидов»	80	27,1/24,7	18–221	Июль
	СЗБ		122		19–355	Июль–август
2020	ЮЗБ	НИС «Дмитрий Песков»	95	27,1/24,4	10–205	Сентябрь–октябрь
	СЗБ		138		20–200	Август–сентябрь
2021	СЗБ	НИС «Профессор Кагановский»	125	«	23–282	То же

Таблица 2

Объём использованного материала по наваге западной части Берингова моря в 2012–2021 гг., экз.

Table 2

Data volume for saffron cod collected in the western Bering Sea in 2012–2021, ind.

Район	Массовый промер	Полный биологический анализ	Тип орудия лова
ЮЗБ	8612	–	Донный трал
	–	3526	Снорревод
СЗБ	4974	–	Донный трал
	–	1384	Снорревод
СЗБЧ	21	–	Донный трал
Все районы	13607	4910	Все орудия

заливах Корфа и Олюторском). В период нагула, летом, она повсеместно встречается в заливах в близких по значению температурных условиях — от 1,2 до 8,5 °С — на глубинах от 30 до 150 м [Новикова, 2007]. Однако наиболее плотные скопления образует преимущественно на глубинах 20–60 м в тех же чётко локализованных районах: в прол. Литке, зал. Корфа и некоторых участках Олюторского залива (рис. 2). Эти участки пространственно совпадают с локальными круговоротами вод, которые свойственны юго-западной части Берингова моря [Натаров, 1963]. Следует также отметить, что в зависимости от гидрологических условий, складывающихся на шельфе юго-западной части Берингова моря, промысловые скопления наваги в определенной степени

приурочены к распределению зоопланктона, привлекающего навагу и состоящего в основном из холодноводных видов субарктического и арктического комплексов, которые негативно реагируют на потепление [Семененко, 1970; Токранов, Толстяк, 1990; Чучукало, 2006; Волков, 2018].

В этом районе навага достигает максимальной длины 52 см, массы 1770 г и возраста 12 лет [Новикова, 2007]. В летне-осенних промысловых уловах снюрревода встречаются особи длиной 18–52 см и массой — 30–1200 г. Изымаются преимущественно половозрелые 2–4-годовалые рыбы длиной 30–38 см и массой 200–400 г, составляющие 60–65 % уловов (рис. 3).

Запасы. Проведённые донные траловые съёмки в заливах юго-западной части Берингова моря в 2012–2014, 2016, 2019 и 2020 гг. показали, что наибольшие скопления навага образует на юге Карагинского залива, в зал. Корфа и в восточной части Олюторского залива (см. рис. 2).

В траловых уловах в период съёмки на НИС «Профессор Пробатов» в 2012 г. навага была представлена особями длиной 9–43 см, средняя — 27,6 см (рис. 4). Основу уловов составляли рыбы длиной 27–39 см. Исходя из данных многолетних наблюдений размерного состава наваги Карагинской рыбопромысловой подзоны, а также сравнив размерные составы 2012 и 2013 гг., можно отметить, что доля сеголеток в уловах 2012 г. была невелика (на рис. 4 рыбы длиной до 15 см). Однако доля двухлеток (примерно часть кривой от 15 до 23 см) оказалась весьма значительной и составляла в среднем по данному району около 20,2 % уловов. Учитывая, что на глубинах менее 20 м траления не выполняли, в диапазоне 20–30 м произведено всего 10 тралений, а также то, что сеголетки в уловах составляли десятые доли процента, можно предположить, что основное количество молоди наваги во время съёмки обитало у берега и не попало в зону учетных работ. Следовательно, и доля пополнения промыслового запаса рыбами в возрасте 1+ могла быть больше упомянутой выше величины, что может свидетельствовать о хороших условиях воспроизводства наваги в Карагинской подзоне зимой 2010–2011 гг.

Несмотря на то что съёмка на СТР «Пограничник Кирдищев» в октябре 2013 г. также не охватила тралениями глубины менее 20 м, молодые неполовозрелые особи были представлены в ее уловах полнее, чем в 2012 г. (рис. 4). В целом уловы наваги состояли из рыб длиной 7–43 см со средней — 18,3 см. Доминировали особи двух размерных групп — 9–17 и 19–37 см. Сеголетки, или мальки длиной до 15 см, составляли более 60 % численности рыб всех остальных генераций в общем улове наваги, из чего можно заключить, что условия воспроизводства наваги в Карагинской подзоне в 2012–2013 г. были благоприятными.

Во время ноябрьской учетной траловой съёмки 2014 г. навага в уловах была представлена особями 9–41 см со средней длиной 24,6 см (рис. 4). Численно преобладали рыбы длиной 19–31 см. В настоящее время трудно назвать причину небольшой доли сеголеток в уловах этой съёмки, но среди наиболее вероятных причин (по сравнению с предыдущей съёмкой) можно назвать различия в сроках откочевки сеголеток от берега и малую численность генерации 2014 г. Как видно из сделанных предположений, материалы съёмки 2014 г. не дали однозначного ответа на вопрос об условиях воспроизводства наваги в этом году.

Траловая съёмка, выполненная в июне 2016 г., показала, что доля двухлеток оказалась крайне незначительной и составляла менее 2 % от уловов. Навага была представлена особями длиной 9–43 см при среднем значении 28,3 см. Их основу составляли рыбы длиной 21–30 см (70,3 %).

По результатам съёмки, проведенной в июле 2019 г., молодые неполовозрелые особи в уловах практически отсутствовали. Так, если в июньских уловах 2016 г. молодь наваги размером до 20 см составляла 3,2 % учетных рыб, то в 2019 г. — только 1,0 %. Длина рыб в траловых уловах в этот период варьировала от 13 до 44 см. Доминировали особи длиной от 26 до 34 см, составив 70,5 % учетных рыб. Средняя длина была 30,1 см (рис. 4).

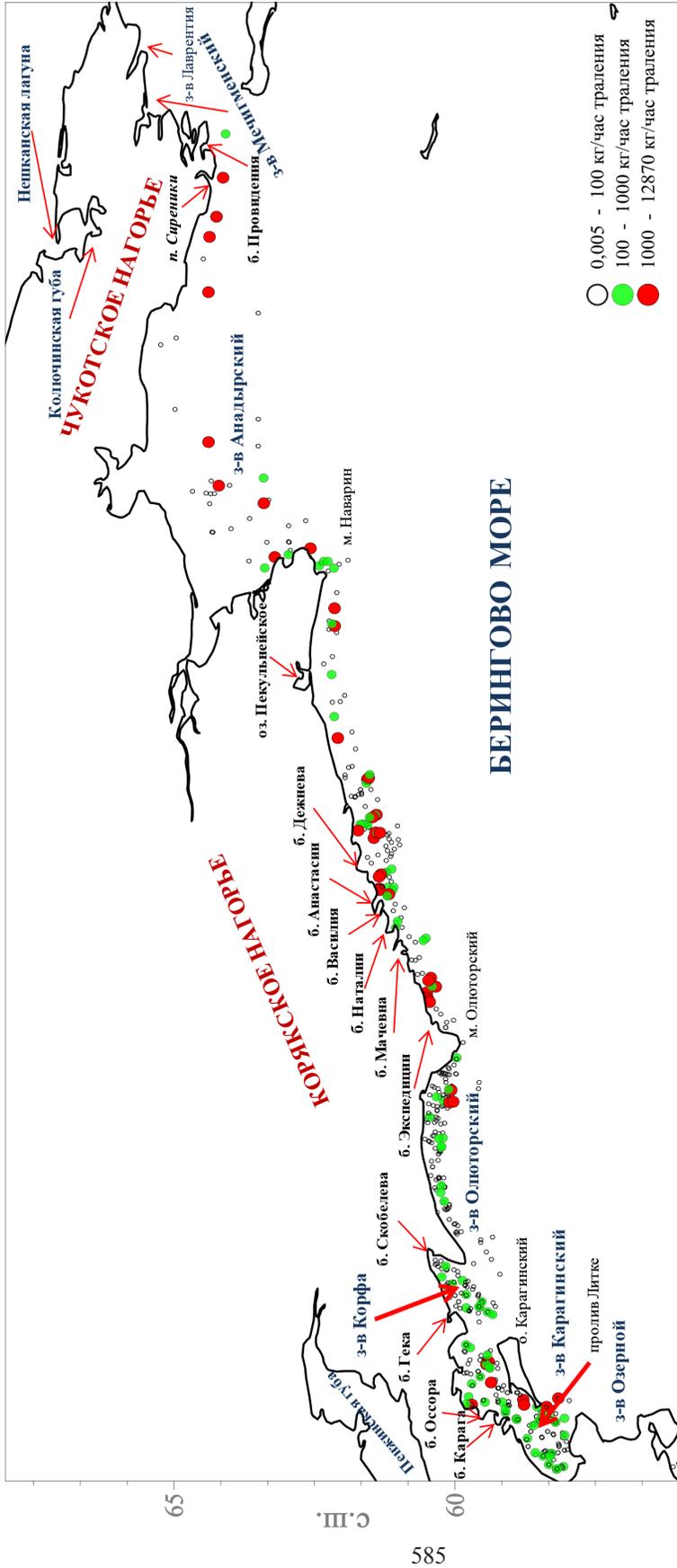


Рис. 2. Распределение скоплений наваги (кг/час траления) в летне-осенний период в западной части Берингова моря по данным донных траловых съемок 2017–2021 гг.

Fig. 2. CPUE (kg per trawl hour) for saffron cod aggregations in the western Bering Sea in summer-fall season (data of bottom trawl surveys in 2017–2021)

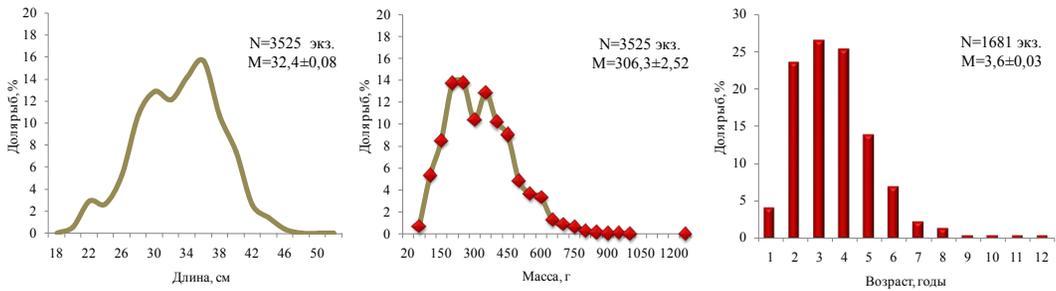


Рис. 3. Размерно-возрастной состав наваги в юго-западной части Берингова моря в летне-осенних снюрреводных уловах (среднегоголетние значения)

Fig. 3. Size and age composition of saffron cod in the southwestern Bering Sea in summer-fall season (averaged long-term data of commercial catches by Danish seine)

В сентябре 2020 г. длина рыб в траловых уловах изменялась от 6 до 45 см, а доминировали особи нескольких размерных групп: 10–12 см (23,2 %), 20–23 (23,6 %) и 28–33 см (22,9 %). Средняя длина рыб составила 22,6 см (рис. 4).

Уловы донных траловых съемок характеризуются самым значительным количеством молодежи наваги (рис. 4). Если в 2012 г. доминировали двух- и трехлетки, то в 2013 г., когда рыбы этих возрастных групп все еще составляли в совокупности около 40 % уловов, более половины уловов приходилось на сеголеток или рыб поколения текущего года рождения, что может служить доказательством хороших условий воспроизводства наваги в 2013 г. Доля рыб многочисленного поколения 2013 г. в уловах съемки 2014 г. сократилась до 24,3 %, а доминирующей по численности оказалась генерация 2011 г. (2+) (около 40 % уловов), полностью вступившая в промысловую часть стада. В июне 2016 г. многочисленными были рыбы 2012–2014 годов рождения, доля которых достигала 86,8 % уловов. Относительное количество рыб в возрасте 0+ и 1+ не превысило 2 %. По данным съемки, проведенной в 2019 г., в уловах доминировали поколения 2015–2016 гг. (3+ и 4+), составившие 71 %. Сеголетки и двухлетние особи (0+ и 1+) практически отсутствовали (0,3 % улова). В 2020 г. возрастную структуру траловых уловов отличало обилие молодых рыб в возрасте 0+...2+ лет — более 72 % улова. Следует отметить, что доля рыб младших возрастных групп в уловах 2019 г. была почти так же мала, как и во время съемки 2016 г. (рис. 4).

Этот факт объясняется тем, что в летний период младшие возрастные группы наваги (особенно сеголетки) сосредоточены в прибрежных лагунах, эстуариях и бухтах, не доступных для траловых работ. Однако проводившиеся за рассматриваемый интервал лет траловые съемки не всегда дают адекватное представление о величине запаса обитающей в этом районе наваги (табл. 3).

В 2012–2014 гг. учетные работы велись по упрощенной сетке станций (только на шельфе). В 2016 г. съемка была ориентирована прежде всего на оценку запасов промысловых беспозвоночных, выполнена только на шельфе и в нестандартные для учета донных рыб сроки — июне, что делает результаты трудно сопоставимыми с данными прошлых лет. В нестандартные сроки была проведена съемка и в 2019 г. (июль).

В связи с этим результаты летних донных съемок 2016 и 2019 гг. не позволили оценить численность пополнения промыслового запаса рыб в возрасте 0+ и 1+, составившие соответственно 2,0 и 0,3 % улова. Очевидно, что и численность остальных возрастных групп была также существенно недооценена, поскольку если по результатам осенних донных траловых съемок 2012–2014 гг. биомассы общего запаса наваги составили 152,5, 478,8, и 246,7 тыс. т, то по результатам съемок 2016 и 2019 гг. — только 30,6 и 35,5 тыс. т. Выполненная донная траловая съемка в юго-западной части Берингова моря (Карагинский залив) на шельфе в сентябре-октябре 2020 г. показала увеличение биомассы наваги по сравнению с работами, проведенными в 2019 г., почти в три раза

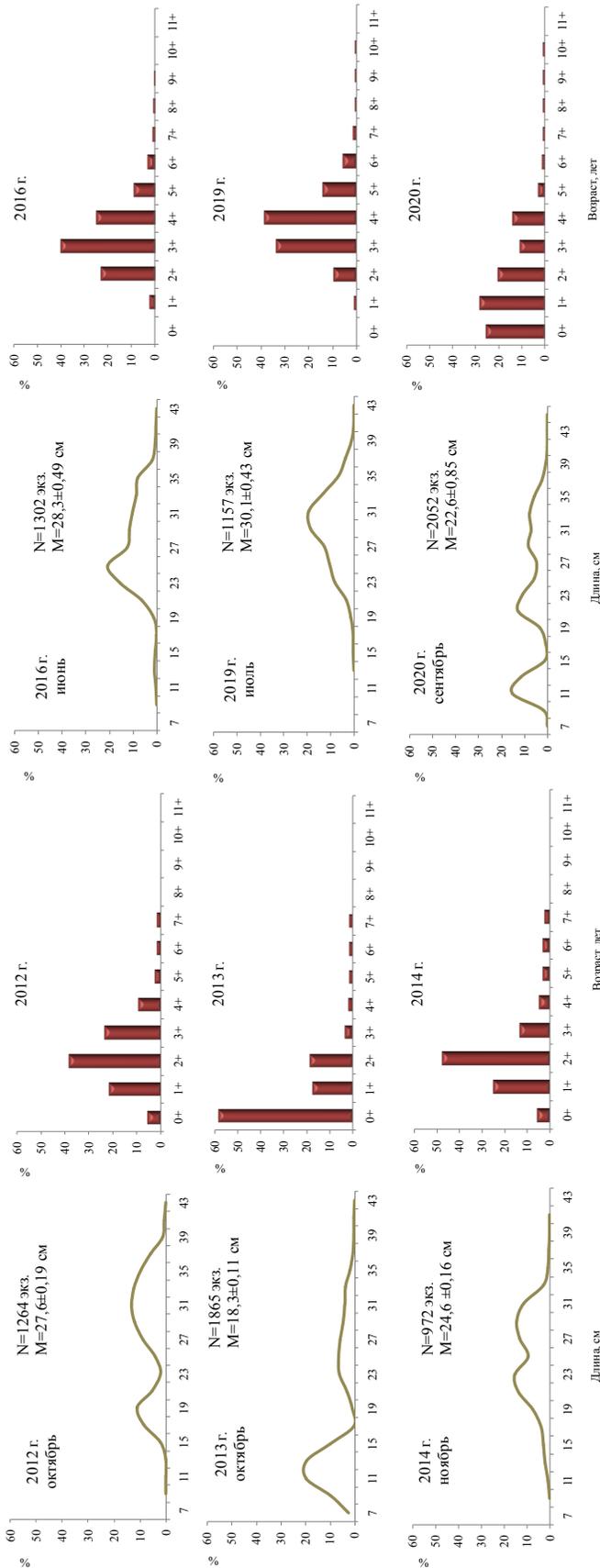


Рис. 4. Межгодовая динамика размерно-возрастного состава наваги в юго-западной части Берингова моря в уловах учетных донных траловых съемок (data of bottom trawl surveys)
 Fig. 4. Interannual dynamics of size and age composition for saffron cod in the southwestern Bering Sea (data of bottom trawl surveys)

Межгодовая динамика общей биомассы (тыс. т) и численности (млн экз.) наваги в Беринговом море по результатам донных траловых съемок (коэффициент уловистости 0,4)
 Table 3
 Interannual dynamics of total biomass (10^3 t) and abundance (10^6 ind.) for saffron cod in the Bering Sea (data of bottom trawl surveys are recalculated with the catch ability coefficient 0.4)

Год	Юго-западная часть моря		Северо-западная часть моря	
	Биомасса	Численность	Биомасса	Численность
2012	152,5	406,62	0,13	0,33
2013	478,8	126,06	–	–
2014	246,7	87,72	–	–
2015	–	–	0,9	5,3
2016	30,6	115,62	37,5	
2017	3,6*	7,73	33,8	117,4
2019	35,5	78,06	10,5	33,4
2020	100,4	664,32	21,7	59,6
2021	–	–	13,5	29,0

* Олюторский залив.

(табл. 3). В 2021 г. учетные работы были ориентированы только на оценку запасов промысловых беспозвоночных, поэтому результаты по наваге признаны нерепрезентативными. В 2022–2023 гг. учетные работы в этом районе не проводились. Таким образом, приоритетными для оценки запасов и прогнозирования ОДУ в последнее время являются методы математического моделирования, при этом результаты съёмки используются для настройки входных параметров модели. По результатам модельных оценок [Ильин и др., 2014] рост численности и биомассы наваги в 2012–2014 гг., связанный с появлением урожайных поколений 2011–2013 гг., сменился после 2015 г. (182,4 тыс. т) снижением, и к 2023 г. общий запас рыб в возрасте 2+ и старше составил 114 тыс. т (рис. 5). Тем не менее численность и биомасса наваги в юго-западной части Берингова моря находятся на достаточно высоком уровне.

Подводя итоги, можно заключить, что воспроизводство наваги в Карагинском заливе в последние годы протекало успешно. Промысловый запас регулярно попол-

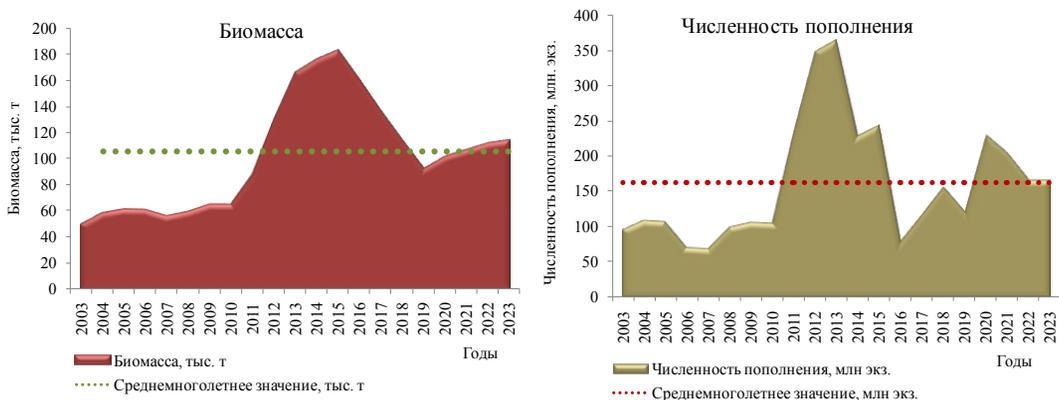


Рис. 5. Межгодовая динамика биомассы общего запаса (2–8 лет) (среднеголетнее значение — 105,1 тыс. т) и численности пополнения наваги в юго-западной части Берингова моря (среднеголетнее значение — 162,6 млн экз.) по модельным оценкам (модель «Синтез» [Ильин и др., 2014])

Fig. 5. Interannual dynamics of spawning stock (age 2–8 years) and recruitment for saffron cod in the southwestern Bering Sea estimated with the Synthesis model [Ilyin et al., 2014]. The average values are $105.1 \cdot 10^3$ t and $162.6 \cdot 10^6$ ind., respectively

нялся значительными по численности генерациями, и в результате возрастной состав промысловой части стада характеризовался явным преобладанием молодых и средне-возрастных рыб.

Промысел. Зимнюю нерестовую навагу на северо-востоке Камчатки начали добывать в конце 20-х гг. прошлого века. Объёмы вылова были невелики. С 1937 г. они начали возрастать, достигнув 8,737 тыс. т в 1941 г. В дальнейшем, с 1967 по 1992 г., уловы наваги в Карагинской подзоне были на довольно высоком уровне, превышая в некоторые годы 10 тыс. т. В связи с сокращением в 1990-е гг. береговых баз переработки и отсутствием мощных береговых морозильных установок произошёл перевес вылова в пользу активного морского рыболовства. Во второй половине 90-х гг. XX столетия навагу добывали в качестве прилова при тралово-снюрреводном промысле камбал и трески. Среднегодовой вылов в этот период не превышал 2,5 тыс. т [Новикова, 2014].

В настоящее время (2003–2023 гг.) основной промысел наваги в юго-западной части Берингова моря ведётся в Карагинском заливе в мае-ноябре при снюрреводном промысле камбал, трески и минтая с бортов мало- и среднетоннажных судов. В незначительных объёмах в течение всего года её также добывают в качестве прилова и другими орудиями лова (разноглубинный и донный тралы) (рис. 6, табл. 4). С 2000 г. в Карагинском заливе возобновился зимний (декабрь-март) вентерный промысел в бухте Оссора (Карагинский залив). Однако промысел наваги ведётся нерегулярно одним-двумя вентерями и малыми объёмами, которые существенного влияния на общую динамику вылова не оказывают, и только в 2008 г. доля наваги, пойманной вентерями в зимнее время, составляла значительную величину годового вылова — 41,4 % (табл. 4).

В период с 2003 по 2023 г. вылов наваги изменялся от 2,3 до 14,5 тыс. т при среднем значении 6,9 тыс. т. Необходимо также отметить, что в 2018 г. улов наваги достиг своего максимума за всю историю промысла (14,5 тыс. т) (табл. 4, рис. 7).

Освоение ОДУ в исследуемый период варьировало в пределах 21,6–93,8 %, составляя в среднем 65,1 % (табл. 4). В последние 3 года вылов наваги резко снизился, а освоение ОДУ не превышало 65 %. В 2023 г. в Карагинской подзоне добыто 6,435 тыс. т наваги, что составляет 64,4 % ОДУ.

Высокий уровень промыслового запаса наваги и существенный рост интереса рыбопромышленников к добыче этого вида способствовали значительному увеличению

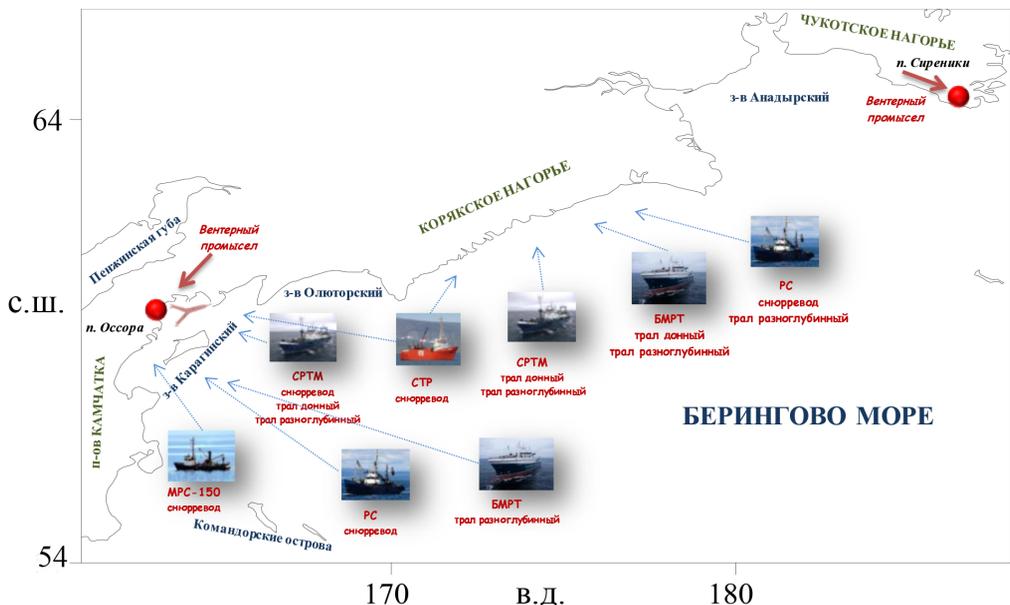


Рис. 6. Промысел наваги в Беринговом море в 2018–2023 гг.

Fig. 6. Fishing gears for saffron cod in the Bering Sea used in 2018–2023

ОДУ*, вылов и освоение наваги в юго-западной части Берингова моря
(Карагинская подзона) в 2003–2023 гг.

Table 4

Total available catch (TAC), actual catch and percentage of TAC realization for saffron cod
in the Karaginsky fishing subzone in the southwestern Bering Sea in 2003–2023

Год	ОДУ, т	Общий вылов, т	Доля вылова, % от общего вылова				Освоение ОДУ, %
			снорре- водом	венте- рем	донным тралом	разноглубинным тралом	
2003	4200	3284	91,7	8,3	0,0	0,0	78,6
2004	6500	5575	99,4	0,6	0,0	0,0	50,8
2005	7700	3070	90,6	9,4	0,0	0,0	40,3
2006	9200	6488	88,28	11,7	0,02	0,0	70,7
2007	8300	2784	77,0	20,8	0,0	2,2	33,7
2008	8800	2340	58,6	41,4	0,0	0,0	26,1
2009	8100	7650	99,5	0,5	0,0	0,0	93,8
2010	8500	4282	99,4	0,6	0,0	0,0	50,6
2011	8600	6671	98,48	1,5	0,0	0,02	77,9
2012	7100	5365	92,1	7,9	0,0	0,0	76,1
2013	7100	5431	99,1	0,8	0,1	0,0	76,5
2014	12000	6475	94,9	5,1	0,0	0,0	54,0
2015	12000	10163	92,5	7,5	0,0	0,0	84,7
2016	12000	9466	90,0	10,0	0,0	0,0	78,9
2017	12000	11124	89,8	10,2	0,0	0,0	92,7
2018	16000	14476	98,3	0,0	1,7	0,0	90,5
2019	16000	12221	92,6	7,3	0,1	0,0	76,4
2020	16000	7928	84,7	13,8	0,7	0,7	49,6
2021	16000	8192	88,5	6,8	3,8	1,0	51,2
2022	16000	7949	72,9	12,0	9,9	5,2	49,7
2023	10000	6435	92,7	1,3	0,0	6,0	64,4

* Состояние промысловых ресурсов. Прогноз общего вылова гидробионтов по дальневосточному хозяйственному бассейну на 2007 г. (краткая версия). Владивосток: ТИПРО-центр, 2006 г. 278 с.; Состояние промысловых ресурсов. Прогноз общего вылова гидробионтов по дальневосточному хозяйственному бассейну на 2012 г. (краткая версия). Владивосток: ТИПРО-центр, 2011 г. 320 с.; Состояние промысловых ресурсов. Прогноз общего вылова гидробионтов по дальневосточному хозяйственному бассейну на 2021 г. (краткая версия). Владивосток: ТИПРО, 2020 г. 501 с.

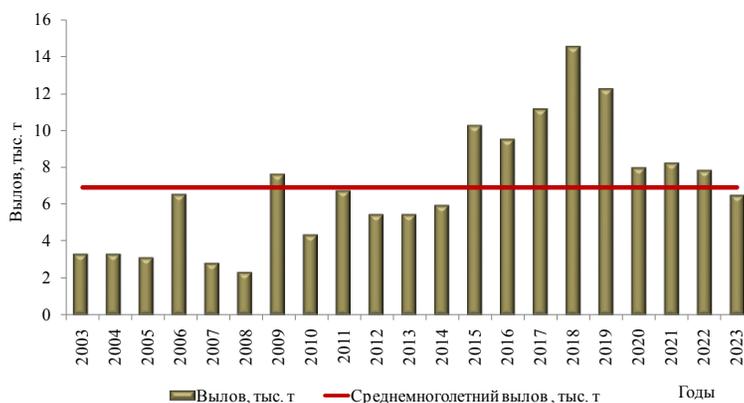


Рис. 7. Межгодовая динамика уловов наваги в юго-западной части Берингова моря (Карагинская подзона) в 2003–2023 гг. (среднегодовое значение — 6,9 тыс. т)

Fig. 7. Dynamics of annual catch for saffron cod in the Karaginsky fishing subzone in the southwestern Bering Sea in 2003–2023 (average value is $6.9 \cdot 10^3$ t)

уловов на усилие в 2015–2019 гг., составивших в среднем 17,7 т/судо-сутки. Однако в 2023 г., как и в 2021–2022 гг., средний улов на судо-сутки по сравнению с 2018 г. снизился почти в 2 раза, что может косвенно свидетельствовать о начале сокращения ресурсов этого вида в подзоне (табл. 5).

Таблица 5
Межгодовая динамика количества судо-суток на промысле и среднего улова на судо-сутки наваги в Беринговом море в 2003–2023 гг.

Table 5
Interannual dynamics of fishing effort (number of acting vessel-days) and CPUE (mean catch per vessel-day) for saffron cod in the western Bering Sea in 2003–2023

Год	Юго-западная часть моря		Северо-западная часть моря			
	Кол-во судо-суток/год	Средний улов на судо-сутки, т	Кол-во судо-суток/год		Средний улов на судо-сутки, т	
	Снюрревод	Снюрревод	Снюрревод	Трал	Снюрревод	Трал
2003	362	3,5	114	0	3,3	0,0
2004	370	10,2	38	0	5,6	0,0
2005	377	4,8	68	0	6,3	0,0
2006	748	6,2	68	0	6,3	0,0
2007	449	1,2	133	50	12,2	10,0
2008	210	3,7	57	15	12,9	20,3
2009	622	10,5	28	0	7,8	0,0
2010	375	10,2	6	0	4,8	0,0
2011	580	10,6	12	0	16,3	0,0
2012	421	9,7	24	0	4,1	0,0
2013	541	8,6	5	0	1,8	0,0
2014	323	12,8	0	0	0,0	0,0
2015	557	17,8	0	0	0,0	0,0
2016	455	18,2	0	9	0,0	0,2
2017	606	15,8	92	0	20,8	0,0
2018	599	19,8	0	0	0,0	0,0
2019	606	16,9	119	0	13,5	0,0
2020	549	10,1	53	0	6,1	0,0
2021	380	11,6	22	0	49,8	0,0
2022	442	8,7	42	7	21,1	13,1
2023	493	9,5	0	3	0,0	36,2

Таким образом, основные причины снижения вылова наваги в 2022–2023 гг. — уменьшение количества судо-суток лова, а также сокращение средних уловов на усилие.

Северо-западная часть Берингова моря (Западно-Берингоморская зона)

Биологическая характеристика. В северо-западной части Берингова моря навага распространена повсеместно вдоль всего Корякского нагорья от мыса Олюторского до мыса Наварин и в Анадырском заливе севернее мыса Наварин [Антонов, Новикова, 2003] (см. рис. 2). В сезонном распределении наваги этого района наблюдается хорошо выраженная батиметрическая стратификация. В летнее время навага держится исключительно на мелководье, в осеннее — на глубинах 50–100 м. В нагульный период она разбивается на отдельные подвижные группы биомассой по несколько сотен тонн, приуроченные к определённым бухтам, заливам, лагунам и отмелям береговой черты (бухты Мачевна, Василия, Анастасии и Дежнева). В осенний период, как правило, происходит слияние этих групп, и на отдельных участках (бухты Экспедиции, Наталии и район оз. Пекульнейского) образуются плотные преднерестовые скопления [Новикова, 2007]. Подобное распределение, возможно, обусловлено динамикой прибрежных вод. В летний период Камчатским течением в этот район переносятся холодные водные массы из се-

верной части Берингова моря, которые создают благоприятные температурные условия для обитания наваги, к тому же данный район богат бентосом — в среднем до 500 г/м² [Зенкевич, 1963]. Наличие кормового бентоса является одним из факторов образования скоплений наваги, и, вероятно, в случае, когда её численность велика, это сказывается на подвижности рыбы и устойчивости её скоплений [Токранов, Толстяк, 1990].

В северо-западной части Берингова моря навага достигает длины 57 см и массы 1300 г [Датский и др., 2000]. Обычно в снюрреводных уловах встречаются особи длиной тела от 20 до 52 см при среднем значении 37,5 см и массой тела 60–1300 г (в среднем 454 г). Около 70 % улова составляют 4–6-годовалые рыбы длиной 34–42 см и массой 300–500 г (рис. 8).

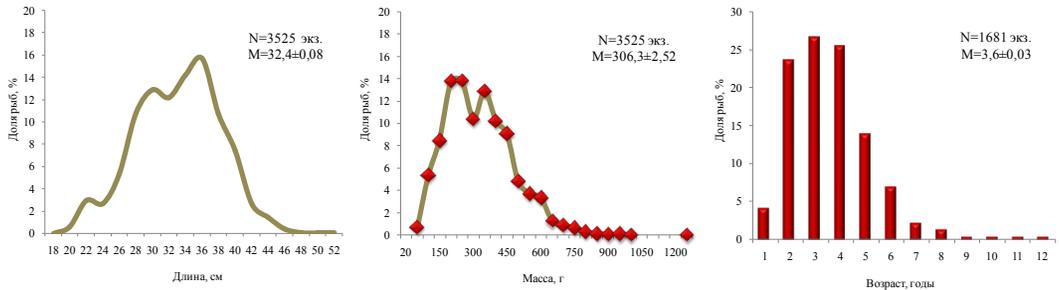


Рис. 8. Размерно-возрастной состав наваги в северо-западной части Берингова моря в летне-осенних снюрреводных уловах (среднегодовые значения)

Fig. 8. Size and age composition of saffron cod in the northwestern Bering Sea in summer-fall season (averaged data for catches of Danish seine)

Запасы. Несмотря на длительный период промысла, навага этого района до сих пор изучена крайне слабо. Сбор биостатистических и промысловых материалов в этом районе осуществляется эпизодически, поэтому судить о её промысловом запасе в настоящее время затруднительно. До 2001 г. полномасштабных донных траловых съемок в территориальных водах северо-западной части Берингова моря не проводили, и оценки биомассы наваги были занижены [Антонов, Новикова, 2003]. По результатам траловых работ, проведенных в последнее десятилетие (2012–2021 гг.), биомасса наваги в северо-западной части Берингова моря варьировала от 0,13 до 37,50 тыс. т (см.табл. 3). Столь резкие колебания биомассы в большей степени связаны с организационными причинами, поскольку траловые съемки выполнялись в разные годы и периоды и съемками был охвачен не весь исследуемый район. В 2015–2017, 2019–2021 гг. в северо-западной части моря учетные работы проводились в летний (2015–2017 и 2019 гг.) и раннеосенний (2020 и 2021 гг.) периоды. Как в летних, так и в осенних съемках навага встречалась на глубинах 19–100 м, максимальные плотности ее распределения были зарегистрированы в диапазоне глубин 20–50 м. Необходимо отметить, что значительная часть запаса наваги (по предварительным оценкам в 2–3 раза превышающая учтенную биомассу) в период проведения съемок располагалась вне зоны учета — на глубинах менее 20 м и на акватории многочисленных заливов и бухт, так как береговая линия Корьякского нагорья характеризуется заметной изрезанностью.

Во время летней (июнь–август) учетной траловой съемки 2015 г. навага в уловах была представлена особями 13–45 см со средней длиной 28,5 см (рис. 9). Численно преобладали рыбы длиной 25–29 см (53 %). Наибольшую долю составили особи 2012 и 2013 годов рождения (2+ и 3+) — более 67 % уловов, а доля двухлеток (1+) не превысила 6 % уловов.

По результатам съемки, проведенной в мае-июне 2016 г., молодые неполовозрелые особи в уловах практически отсутствовали. Длина рыб в траловых уловах в этот период варьировала от 21 до 49 см. Доминировали особи длиной от 31 до 35 см, составив 73,9 % учтенных рыб. Средняя длина — 31,9 см. Как и в 2015 г., в скоплениях

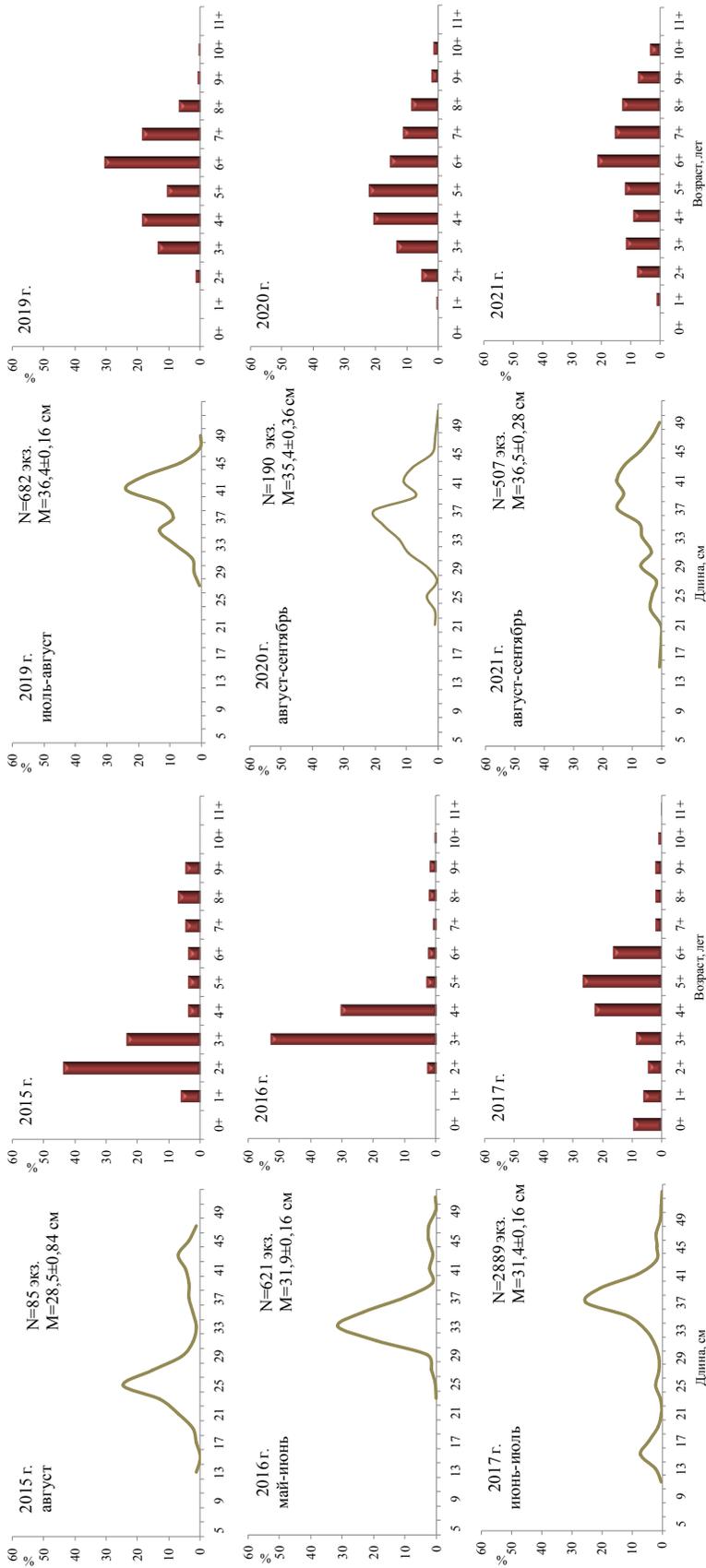


Рис. 9. Межгодовая динамика размерно-возрастного состава наваги в северо-западной части Берингова моря в уловах учетных донных траловых съёмок
 Fig. 9. Interannual dynamics of size-age composition for saffron cod in the northwestern Bering Sea (data of bottom trawl surveys)

наваги в основном преобладали поколения 2012–2013 годов рождения, доля которых в уловах превысила 83 % (рис. 9).

В июне-июле 2017 г. навага в северо-западной части Берингова моря встречалась в прибрежной части олюторско-наваринского района, от мыса Наварин и далее вдоль побережья Анадырского залива до бухты Провидения на глубинах 22–88 м. Максимальные скопления навага образовывала в пределах 20–50 м. В уловах встречались рыбы длиной от 8 до 50 см. Запас формировали особи длиной 33–39 см (65,3 %). Доля пяти- и шестилеток (генерации 2012–2013 гг.) была весьма значительна и составляла в среднем по данному району около 49 %. Поскольку в тралах отмечались одно- и двухлетние рыбы (15,4 % улова), средний размер в уловах несколько снизился (31,4 см) (рис. 9).

По материалам съемок, проведенных в летние периоды 2019–2021 гг., в скоплениях наваги в основном преобладали поколения 2012–2018 годов рождения, из которых генерации 2013 и 2015 гг. были урожайными. Численность поколений 2017–2019 гг. оказалась невысокой, в связи с чем в 2019, 2020 и 2021 гг. в траловых уловах средний размер рыб значительно увеличился по сравнению с 2015–2017 гг. и составил соответственно 36,4, 35,4 и 36,5 см (рис. 9)

Для количественного прогнозирования запаса на 2023 г. в Западно-Берингово-морской зоне были использованы оценки, полученные в учетных съемках (табл. 3). Запас наваги в 2023 г. составил среднюю величину оценок, полученных в съемках в 2017, 2019–2021 гг., — 20 тыс. т. На наш взгляд, для достоверных оценок запаса наваги в северо-западной части Берингова моря необходимо проведение траловых съёмок с охватом самых малых глубин в осенний период (октябрь-ноябрь).

Однако учитывая слабое промысловое воздействие на запас наваги данного района, а также, то, что основу уловов составляют крупные половозрелые рыбы (см. рис. 8), состояние запаса наваги на данный период можно считать удовлетворительным.

Промысел. В 1970–1980-е гг. экспедиционный лов наваги велся на мелководье с июля по сентябрь в бухтах Мачевна, Амаян, Василия и Анастасии, а с сентября по ноябрь — на траверзе бухт Экспедиции и Наталии [Новикова, 2014]. Современный вылов наваги в этом районе на порядок меньше, чем в 1980-е гг., когда её добывалось до 10 тыс. т ежегодно [Терентьев и др., 2002; Антонов, Новикова, 2003]. Данный факт, вероятно, связан с ужесточением Правил рыболовства и погранично-таможенного режима. Ввиду отсутствия оседлого населения промышленного прибрежного рыболовства в этом районе нет. Эти обстоятельства привели к фактическому прекращению промысла, хотя исследовательские съёмки показывают, что объем добычи может быть не меньше, чем в заливах юго-западной части Берингова моря (см. рис. 2, табл. 3).

В настоящее время (2003–2023 гг.) навага добывается в качестве прилова в основном при снюрреводном промысле в августе-сентябре и вылов составляет в среднем 869 т. В небольших количествах навага отмечается в уловах донного и разноглубинного тралов (табл. 5). В 2006 г. был организован специализированный снюрреводный промысел, и её добыча увеличилась до максимальной величины — 3573 т. К 2023 г. годовой вылов сократился до 109 т. Это уменьшение было вызвано значительным снижением интенсивности промысла (табл. 5). Освоение ОДУ/РВ с 2003 г. варьировало от 0 до 57,9 %, составляя в среднем 13,5 % (табл. 6).

Такое нестабильное межгодное освоение рекомендованного вылова наваги может быть связано как с гидрологическими условиями массового распространения наваги вдоль корякского побережья в августе-октябре, так и с интенсивностью промысла, поскольку в этот период снюрреводный флот в массе уже заканчивает работу из-за метеорологических условий.

Северо-западная часть Берингова моря (Чукотская зона)

В Чукотском море тихоокеанская навага встречается в Колочинской губе в районе пос. Питлекай и в Нешканской лагуне. В северной части Берингова пролива ареал наваги прерван: в заливах Мечигменском, Лаврентия, а также в бухте Поутен навага не

Таблица 6

ОДУ (РВ)*, вылов и освоение наваги в северо-западной части Берингова моря в 2003–2023 гг.

Table 6

Total available catch (TAC) or recommended catch and percentage of their realization for saffron cod in the northwestern Bering Sea in 2003–2023

Год	ОДУ/ РВ**, т	Общий вылов, т	Доля вылова, % от общего вылова			Освоение ОДУ/РВ, %
			снюрреводом	донным тралом	разноглубинным тралом	
2003	5000	1048,8	99,70	0,0	0,30	21,0
2004	4200	537,1	98,60	0,0	1,40	12,80
2005	3610	590,2	98,50	1,0	0,50	16,30
2006	18600	3573,4	99,76	0,2	0,04	19,20
2007	6840	1789,2	61,80	5,7	32,50	26,20
2008	9960	1250,5	79,90	6,8	13,30	12,60
2009	5425	499,9	100,0	0,0	0,0	9,20
2010	5600	29,6	99,80	0,2	0,0	0,50
2011	6000	330,5	100,0	0,0	0,0	5,50
2012	4980	140,4	100,0	0,0	0,0	2,80
2013	5000	9,6	100,0	0,0	0,0	0,20
2014	5000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2015	5000	0	0,0	0,0	0,0	0,0
2016	5000	1,7	0,0	100,0	0,0	0,03
2017	5000	2894,9	100,0	0,0	0,0	57,90
2018	5000	14,9	0,0	81,9	18,10	0,30
2019	5000	2688,8	100,0	0,0	0,0	53,80
2020	5000	607,7	99,20	0,5	0,30	12,20
2021	5000	1096,4	100,0	0,0	0,0	21,90
2022	6800	1026,6	92,0	3,9	4,10	10,10
2023	6200	108,5	0,0	0,0	100,0	1,70

* Источники данных такие же, как к табл. 4.

** С 2009 г. в Западно-Беринговоморской зоне определяется величина рекомендованного вылова (РВ) наваги.

встречается. Она отмечалась в бухте Провидения, где в некоторые годы нерестилась и ловилась в районе пос. Сиреники [Семененко, 1965] (см. рис. 2). Экспериментальный лов нерестовой наваги в Нешканской лагуне в середине 1960-х гг. показал возможность организации промысла в этом районе, где она достигала максимальной длины 36 см и массы 280 г [Семененко, 1965, 1971].

В июне-июле 2017 г. в ходе проведения учётных работ у побережья Чукотского полуострова (Анадырский залив, в пределах Чукотской зоны) навага отмечалась на глубинах 30–83 м при образовании максимальной плотности распределения — 1715 кг/км² в диапазоне глубин 20–50 м (рис. 2). Длина особей наваги изменялась в пределах 11–34 см при среднем показателе, равном 24,6 см (рис. 10) и средней массе — 118,1 г. Модальным классом размерного состава наваги, как численности, так и биомассы, являлись рыбы длиной 27–28 см. Биомасса была оценена в 0,14 тыс. т при численности 1,19 млн экз. Из них промысловая часть составила 0,13 тыс. т (почти 97,1 % общей биомассы) и около 1 млн экз. (84 %).

В 2020, 2021 и 2022 гг. в Чукотской зоне определялась величина рекомендованного вылова (РВ) наваги в количестве соответственно 0,040, 0,044 и 0,044 тыс. т. Однако по данным отраслевой системы мониторинга Росрыболовства, сведений о её промысле в эти годы не поступало и вылов наваги в этом районе известен только по 2003 г., когда было поймано в режиме промышленного рыболовства 5,6 т. Тем не менее навагу здесь добывают сетями и удочками с берега моря, в лагунах, устьях рек, а также зимой со льда.

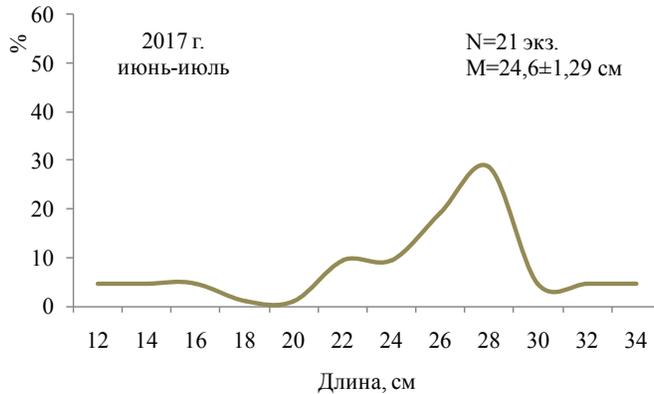


Рис. 10. Размерный состав наваги в Анадырском заливе (в пределах Чукотской зоны) в учетных донных траловых уловах в июне-июле 2017 г.

Fig. 10. Size composition of saffron cod within the Chukotka fishing zone in the Gulf of Anadyr (data of bottom trawl survey in June-July, 2017)

В юго-западной части Берингова моря общий запас наваги составил 100,40 тыс. т, в северо-западной части в 2022 г. — 13,50 тыс. т, у побережья Чукотского полуострова (северная часть Анадырского залива) в 2017 г. — 0,14 тыс. т. За исследуемый период средний улов наваги в юго- и северо-западной частях Берингова моря был соответственно 6,9 и 0,8 тыс. т.

Выводы

В юго-западной части Берингова моря навага в нерестовый период (в ноябре-апреле) распределяется в самой прибрежной зоне. В период нагула, летом, она повсеместно встречается в заливах, образуя наиболее плотные скопления на глубинах 20–60 м. По данным донной траловой съёмки, проведённой в 2021 г., общий запас наваги составил 100,4 тыс. т. По модельным расчетам общий запас наваги в 2023 г. получился 114 тыс. т. Её промысел ведётся в декабре-апреле вентерями в бухтах Карага и Оссора и в мае-ноябре при снюрреводном промысле камбал, трески и минтая в Карагинском заливе с бортов мало- и среднетоннажных судов. В период с 2003 по 2023 г. годовой вылов наваги изменялся от 2,3 до 14,5 тыс. т при среднем значении, равном 6,9 тыс. т. Освоение ОДУ в исследуемый период варьировало в пределах 21,6–93,8 %, составляя в среднем 65,1 %. В промысловых уловах снюрревода изымаются преимущественно половозрелые 2–4-годовалые рыбы длиной 30–38 см и массой 200–400 г, составляющие 60–65 % пойманных рыб.

В северо-западной части Берингова моря навага в летнее время держится исключительно на мелководье, в осеннее — на глубинах 50–100 м, формируя плотные преднерестовые скопления. По результатам выполненной в этом районе в 2022 г. донной траловой съёмки общий запас наваги составил 13,5 тыс. т. Запас в 2023 г., рассчитанный по площадям ячеек Вороного, — средняя величина оценок, полученных в съёмках в 2017, 2019–2021 гг., — 20 тыс. т. Навага добывается в качестве прилова в основном при снюрреводном промысле в августе-сентябре. В период с 2003 по 2023 г. ее вылов изменялся от 0 до 3,573 тыс. т, составив в среднем 0,868 тыс. т. Освоение ОДУ/РВ с 2003 г. варьировало от 0 до 57,9 %, среднее значение — 13,5 %. Обычно в снюрреводных уловах около 70 % составляют 4–6-годовалые рыбы длиной 34–42 см и массой 300–500 г.

У побережья Чукотского полуострова промысловая часть наваги по данным учётных тралений в 2017 г. составила 0,14 тыс. т. Промысел наваги в этом районе отсутствует.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают признательность всем коллегам, участвовавшим в экспедициях в Беринговом море.

The authors are grateful to all colleagues who joined expeditions in the Bering Sea.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The study was not sponsored.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных соблюдены. Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

All applicable international, national and/or institutional principles for the care and use of animals have been observed. The authors state that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Концепция исследования, анализ данных, написание текста — О.В. Новикова. Л.А. Черноиванова принимала участие в обсуждении характеристики наваги северо-западной части Берингова моря. Совместно проанализированы полученные результаты.

O.V. Novikova — research concept, data analysis, text writing; results of the study were analyzed and features of saffron cod biology in the northwestern Bering Sea were discussed by both authors jointly.

Список литературы

Аксютин З.М. Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях : моногр. — М. : Пищ. пром-сть, 1968. — 288 с.

Антонов Н.П., Новикова О.В. Тихоокеанская навага // Состояние биологических ресурсов северо-западной Пацифики. — Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2003. — С. 51–57.

Балькин П.А. Состояние и ресурсы рыболовства в западной части Берингова моря : моногр. — М. : ВНИРО, 2006. — 143 с.

Борисовец Е.Э., Вдовин А.Н., Панченко В.В. Оценки запасов керчаков по данным учетных траловых съемок залива Петра Великого // Вопр. рыб-ва. — 2003. — Т. 4, № 1(13). — С. 157–170.

Варкентин А.И., Овчеренко Р.Т., Калугин А.А. О некоторых результатах донных траловых съемок в тихоокеанских водах Камчатки в 1999, 2002, 2016–2018 гг. // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2019. — Вып. 55. — С. 5–43. DOI: 10.15853/2072-8212.2019.55.5-43.

Василец П.М., Доценко В.С. О некоторых аспектах биологии наваги Авачинской губы в первые два года жизни // Тр. КФ ТИГ ДВО РАН. — 2003. — Вып. 4. — С. 279–286.

Волков А.Ф. Современное состояние весеннего планктонного сообщества северной части Охотского моря (1997–2017 гг.) // Изв. ТИНРО. — 2018. — Т. 192. — С. 121–135. DOI: 10.26428/1606-9919-2018-192-121-135.

Датский А.В. Сырьевая база рыболовства и её использование в российских водах Берингова моря. Сообщение 1. Суммарный прогнозируемый и фактический вылов водных биологических ресурсов за период с 2000 по 2015 г. // Тр. ВНИРО. — 2019. — Т. 175. — С. 130–152. DOI: 10.36038/2307-3497-2019-175-130-152.

Датский А.В., Андронов П.Ю. Ихтиоцен верхнего шельфа северо-западной части Берингова моря : моногр. — Магадан : СВНЦ ДВО РАН, 2007. — 261 с.

Датский А.В., Ведищева Е.В., Трофимова А.О. Особенности биологии массовых рыб в российских водах Чукотского моря. 1. Промысловая биомасса рыб. Семейство тресковые Gadidae // Вопр. ихтиол. — 2022. — Т. 62, № 4. — С. 387–412. DOI: 10.31857/S0042875222040075.

Датский А.В., Пальм С.А., Чикилев В.Г. Рыбные ресурсы прибрежной зоны Анадырско-Наваринского района // Рыб. хоз-во. — 2000. — № 5. — С. 22–24.

Датский А.В., Самойленко В.В. Сырьевая база водных биологических ресурсов в российских водах Берингова моря и ее стоимость // *Вопр. рыб-ва.* — 2021. — Т. 22, № 1. — С. 64–99. DOI: 10.36038/0234-2774-2021-22-1-64-99.

Зенкевич Л.А. Биология морей СССР : моногр. — М. : АН СССР, 1963. — 739 с.

Ившина Э.Р., Метленков А.В. Некоторые данные по промыслу, распределению и размерному составу дальневосточной наваги *Eleginus gracilis* Tilesius, 1810 у Южных Курильских островов // *Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана.* — 2022. — Вып. 65. — С. 26–41. DOI: 10.15853/2072-8212.2022.65.26-41.

Ильин О.И., Сергеева Н.П., Варкентин А.И. Оценка запасов и прогнозирование ОДУ восточнокамчатского минтая (*Theragra chalcogramma*) на основе предосторожного подхода // *Тр. ВНИРО.* — 2014. — Т. 151. — С. 62–74.

Лакин Г.Ф. Биометрия : учеб. пособие. — 4-е изд., перераб. и доп. — М. : Высш. шк., 1990. — 352 с.

Натаров В.В. О водных массах и течениях Берингова моря // *Тр. ВНИРО.* — 1963. — Т. 48 : Изв. ТИНРО. — Т. 50. — С. 111–133.

Новикова (Шевчук) О.В. Навага // *Гидрометеорология и гидрохимия морей.* Т. 10: Берингово море, вып. 2: Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности. — СПб. : Гидрометеоздат, 2001. — С. 164–170.

Новикова О.В. Дальневосточная навага (*Eleginus gracilis* (Til.)) прикамчатских вод : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Петропавловск-Камчатский, 2007. — 23 с.

Новикова О.В. Некоторые особенности распределения и биологии тихоокеанской наваги *Eleginus gracilis* (Tilesius) юго-восточной Камчатки // *Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана.* — 2020. — Вып. 57. — С. 99–116. DOI: 10.15853/2072-8212.2020.57.99-116.

Новикова О.В. Обзор промысла тихоокеанской наваги *Eleginus gracilis* (Til.) в дальневосточных морях // *Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана.* — 2014. — Вып. 33. — С. 38–48.

Новикова О.В. Промысел, распределение и некоторые особенности биологии наваги (*Eleginus gracilis* (Tilesius)) прикамчатских вод // *Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана.* — 2002. — Вып. 6. — С. 120–130.

Новикова О.В. Условия формирования промысловых скоплений наваги *Eleginus gracilis* Tilesius (Gadidae) у Западной Камчатки // *Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана.* — 2010. — Вып. 18. — С. 71–81.

Ракитина М.В. Состояние запасов и перспективы промысла рыб прибрежного комплекса Тауйской губы (навага, азиатская корюшка, голубой окунь) // *Состояние и перспективы рыбохозяйственных исследований в бассейне северной части Охотского моря : сб. науч. тр.* — Магадан : МагаданНИРО, 2001. — Вып. 1. — С. 185–196.

Ракитина М.В., Смирнов А.А. Тихоокеанская навага (*Eleginus gracilis* Tilesius) Тауйской губы Охотского моря: экология, современное состояние запаса и перспективы промысла // *Рыб. хоз-во.* — 2018. — № 3. — С. 49–52.

Рикер У.Е. Методы оценки и интерпретация биологических показателей популяций рыб : моногр. — М. : Пищ. пром-сть, 1979. — 408 с. (Пер. с англ.)

Сафронов С.Н. Экология дальневосточной наваги *Eleginus gracilis* Tilesius (Gadidae) шельфа Сахалина и южных Курильских островов : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток : ИБМ ДВНЦ АН СССР, 1986. — 26 с.

Семененко Л.И. К вопросу о локальных группировках тихоокеанской наваги // *Изв. ТИНРО.* — 1971. — Т. 75. — С. 37–46.

Семененко Л.И. О локальных стадах тихоокеанской наваги и перспективах ее промысла в северной части ареала // *Изв. ТИНРО.* — 1965. — Т. 59. — С. 136–144.

Семененко Л.И. Особенности роста тихоокеанской наваги // *Изв. ТИНРО.* — 1970. — Т. 71. — С. 97–108.

Терентьев Д.А., Антонов Н.П., Новикова О.В. Состояние запасов и перспективы промысла западноберингоморской наваги // *Рыбохозяйственные исследования Мирового океана : тр. 2-й междунар. науч. конф.* — Владивосток : Дальрыбвтуз, 2002. — Т. 1. — С. 139.

Токранов А.М., Толстяк А.Ф. Пищевая ниша дальневосточной наваги *Eleginus gracilis* (Tilesius) в прибрежных водах Камчатки // *Изв. ТИНРО.* — 1990. — Т. 111. — С. 114–122.

Толстяк А.Ф. Влияние некоторых факторов среды на численность поколений камчатской наваги // *Биологические ресурсы шельфовых и окраинных морей.* — М. : Наука, 1990. — С. 148–155.

Трофимов И.К. Размерно-возрастная структура промысловых скоплений наваги западной части Берингова моря в 2003–2012 гг. // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2015. — Вып. 36. — С. 5–13. DOI: 10.15853/2072-8212.2015.36.5-13.

Трофимов И.К., Починок П.М. Размерный состав наваги *Eleginus gracilis* в снюрреводных уловах у побережья Корякского нагорья (западная часть Берингова моря) в августе-сентябре 2003 г. // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2014. — Вып. 35. — С. 103–106. DOI: 15853/2072-8212.2014.35.103-106.

Черешнев И.А., Волобуев В.В., Хованский И.Е., Шестаков А.В. Прибрежные рыбы северной части Охотского моря : моногр. — Владивосток : Дальнаука, 2001. — 197 с.

Чучукало В.И. Питание и пищевые отношения nekтона и nekтобентоса в дальневосточных морях : моногр. — Владивосток : ТИПРО-центр, 2006. — 484 с.

References

Aksyutina, Z.M., *Elementy matematicheskoi otsenki rezul'tatov nablyudeni v biologicheskikh i rybokhozyaistvennykh issledovaniyakh* (Elements of Mathematical Evaluation of the Results of Observations in Biological and Fishery Research), Moscow: Pishchevaya Promyshlennost', 1968.

Antonov, N.P. and Novikova, O.V., Pacific saffron cod, in *Sostoyaniye biologicheskikh resursov Severo-Zapadnoy Patsifiki* (State of biological resources of the Northwest Pacific), Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, 2003, pp. 51–57.

Balykin, P.A., *Sostoyaniye i resursy rybolovstva v zapadnoy chasti Beringova morya* (Status and resources of fisheries in the western part of the Bering Sea), Moscow: VNIRO, 2006.

Borisovets, E.E., Vdovin, A.N., and Panchenko, V.V., Estimates of sculpin stocks based on the data of trawl surveys in Peter the Great Bay, *Vopr. Rybolov.*, 2003, vol. 4, no. 1(13), pp. 157–170.

Varkentin, A.A., Ovcherenko, R.T., and Kalugin, A.A., About some results of bottom trawl surveys in the pacific waters of Kamchatka in 1999, 2002, 2016–2018, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2019, vol. 55, pp. 5–43. doi 10.15853/2072-8212.2019.55.5-43

Vasilets, P.M. and Dotsenko, V.S., On some aspects of the biology of saffron cod in the Avacha Bay during the first two years of life, *Tr. Kamchatskogo Fil. Tikhookean. Inst. Geogr. Dal'nevost. Otd. Ross. Akad. Nauk*, 2003, vol. 4, pp. 279–286.

Volkov, A.F., Present state of the spring plankton community in the northern Okhotsk Sea (1997–2017), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2018, vol. 192, pp. 121–135. doi 10.26428/1606-9919-2018-192-121-135

Datsky, A.V., The raw material base of fisheries and its use in the Russian waters of the Bering Sea. Message 1. Total projected and actual catch of aquatic biological resources for the period from 2000 to 2015, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2019, vol. 175, pp. 130–152. doi 10.36038/2307-3497-2019-175-130-152

Datsky, A.V. and Andronov, P.Yu., *Ikhtiotsen verkhnego shel'fa severo-zapadnoi chasti Beringova morya* (The Ichthyocene on the Upper Shelf of the Northwestern Bering Sea), Magadan: Sev.-Vost. Nauchn. Tsentr, Dal'nevost. Otd., Ross. Akad. Nauk, 2007.

Datsky, A.V., Vedishcheva, E.V., and Trofimova, A.O., Features of the biology of mass fish species in Russian waters of the Chukchi Sea. 1. Commercial fish biomass. family Gadidae, *Vopr. Ikhtiol.*, 2022, vol. 62, no. 4, pp. 560–585. doi 10.1134/s0032945222040051

Datskiy, A.V., Palm, S.A., and Chikilyov, V.G., Fish resources in the coastal zone of the Anadyr-Navarin region, *Rybn. Khoz.*, 2000, no. 5, pp. 22–24.

Datsky, A.V. and Samoilenko, V.V., The raw materials of water biological resources in the Russian waters of the Bering Sea and its value, *Vopr. Rybol.*, 2021, vol. 22, no. 1, pp. 65–99. doi 10.36038/0234-2774-2021-22-1-64-99

Zenkevich, L.A., *Biologiya morey SSSR* (Biology of the seas of the USSR), Moscow: Akad. Nauk SSSR, 1963.

Ivshina, E.R. and Metlenkov, A.V., Some data on the fishery, distribution and size composition of saffron cod *Eleginus gracilis* Tilesius, 1810 near the Southern Kuril Islands, *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the North-West Part of the Pacific Ocean*, 2022, vol. 65, pp. 26–41. doi 10.15853/2072-8212.2022.65.26-41

Iyin, O.I., Sergeeva, N.P., and Varkentin, A.I., East-Kamchatka Walleye Pollock (*Theragra chalcogramma*) Stock and TAC Assessment Based on the Precautionary Approach, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2014, vol. 151, pp. 62–74.

Lakin, G.F., *Biometriya* (Biometrics), Moscow: Vysshaya Shkola, 1990, 4th ed.

Natarov, V.V., On the water masses and currents of the Bering Sea, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1963, vol. 48, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, vol. 50, pp. 111–133.

Novikova (Shevchuk), O.V., Navaga, in *Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas*, vol. 10: Bering Sea, no. 2: Hydrochemical conditions and oceanological basis for the formation of biological productivity, St. Peteresburg, 2001, pp. 164–170.

Novikova, O.V., Far Eastern navaga (*Eleginus gracilis* (Til.)) of Kamchatka waters, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Petropavlovsk-Kamchatsky, 2007.

Novikova, O.V., Some peculiarities of saffron cod *Eleginus gracilis* (Tilesius) biology and distribution on South-East Kamchatka, *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the North-West Part of the Pacific Ocean*, 2020, vol. 57, pp. 99–116. doi 10.15853/2072-8212.2020.57.99-116

Novikova, O.V., Review of saffron cod *Eleginus gracilis* (Til.) fishery in the Far Eastern Seas, *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the North-West Part of the Pacific Ocean*, 2014, vol. 33, pp. 38–48.

Novikova, O.V., Catches, distribution and some peculiarities of biology of saffron cod *Eleginus gracilis* (Tilesius) in the waters adjacent to Kamchatka, *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the North-West Part of the Pacific Ocean*, 2002, vol. 6, pp. 120–130.

Novikova, O.V., The terms of formation of fishing accumulations of saffron cod *Eleginus gracilis* Tilesius (Gadidae) of West Kamchatka, *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the North-West Part of the Pacific Ocean*, 2010, vol. 18, pp. 71–81.

Rakitina, M.V., Status of stocks and perspectives for fishery in the coastal complex of the Tauai Bay (navaga, Arctic smelt, blue rockfish), in *Sb. nauchn. tr. "Sostoyanie i perspektivy rybokhozyaystvennykh issledovaniy v basseine severnoi chasti Okhotskogo morya"* (Collect. Sci. Works "The Status and the Prospects of Fishery Research in the Northern Sea of Okhotsk Basin"), Magadan: Magadan. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr., 2001, vol. 1, pp. 185–196.

Rakitina, M.V. and Smirnov, A.A., Pacific navaga *Eleginus gracilis* Tilesius of the Sea of Okhotsk Tauai Bay: ecology, current state of the stock and fishing prospects, *Rybn. Khoz.*, 2018, no. 3, pp. 49–52.

Ricker, W.E., *Computation and Interpretation of Biological Statistics of Fish Populations*, Ottawa: Dep. Environ. Fish. Mar. Serv., 1975.

Safonov, S.N., Ecology of the Far Eastern navaga *Eleginus gracilis* Tilesius (Gadidae) from the Sakhalin shelf and the southern Kuril Islands, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Vladivostok: Inst. Biol. Morya, Dal'nevost. Nauchn. Tsentr, Akad. Nauk SSSR, 1986.

Semenenko, L.I., To the question of *Eleginus navaga gracilis* Tilesius local group, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1965, vol. 59, pp. 136–144.

Semenenko, L.I., On the local herds of the Pacific saffron cod and the prospects for its fishing in the northern part of the range, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1971, vol. 75, pp. 37–46.

Semenenko, L.I., Peculiarities of growth of the Pacific navaga, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1970, vol. 71, pp. 97–108.

Terentyev, D.A., Antonov, N.P., and Novikova, O.V., Status of stocks and prospects for fishing of the West Bering Sea navaga, in *Tr. Vtoroy Mezhdunar. nauchn. konf. "Rybokhozyaystvennyye issledovaniya Mirovogo okeana"* (Tr. 2nd Int. Sci. Conf. "Fisheries research of the World Ocean"), Vladivostok: Dal'rybvtuz, 2002, vol. 1, pp. 139.

Tokranov, A.M. and Tolstyak, A.F., Food niche of the Pacific navaga *Eleginus gracilis* (Tilesius) in coastal waters of Kamchatka, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1990, vol. 111, pp. 114–122.

Tolstyak, A.F., The influence of some environmental factors on the number of generations of Kamchatka navaga, in *Biologicheskkiye resursy shel'fovyykh i okrainnykh morey* (Biological Resources of Shelf and Marginal Seas), Moscow: Nauka, 1990, pp. 148–155.

Trofimov, I.K., Size-age structure in saffron cod commercial aggregations in the Western Bering Sea in 2003–2012, *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the North-West Part of the Pacific Ocean*, 2015, vol. 36, pp. 5–13. Doi 10.15853/2072-8212.2015.36.5-13

Trofimov, I.K. and Pochinok, P.M., Size composition of saffron cod *Eleginus gracilis* in the Danish seine catches on the shelf nearby Koryak Uplands (the Western Bering Sea) in August–September in 2003, *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the North-West Part of the Pacific Ocean*, 2014, vol. 35, pp. 103–106. doi 15853/2072-8212.2014.35.103-106

Chereshnev, I.A., Volobuev, V.V., Khovansky, I.E., and Shestakov, A.V., *Pribrezhnye ryby severnoi chasti Okhotskogo morya* (Coastal Fishes of the Northern Sea of Okhotsk), Vladivostok: Dal'nauka, 2001.

Chuchukalo, V.I., *Pitanie i pishchevye otnosheniya nektona i nektobentosa v dal'nevostochnykh moryakh* (Diet and Feeding Interactions among Nekton and Nektobenthos in the Far Eastern Seas), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2006.

Vasilets, P.M., FMS analyst — computer program for processing data from Russian Fishery Monitoring System, 2015. doi 10.13140/RG.2.1.5186.0962

Поступила в редакцию 25.06.2024 г.

После доработки 19.07.2024 г.

Принята к публикации 31.07.2024 г.

*The article was submitted 25.06.2024; approved after reviewing 19.07.2024;
accepted for publication 31.07.2024*

Краткое сообщение

УДК 594.124–19(262.81)

DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-602-608

EDN: OXCMJM



**О ВСЕЛЕНИИ ЧЕРНОМОРСКОЙ МИДИИ
MYTILUS GALLOPROVINCIALIS (LAMARCK, 1819)
В БАССЕЙН КАСПИЙСКОГО МОРЯ**

**Е.В. Минакова, О.В. Жаткина, Р.Д. Кашин, А.В. Михайлова,
Н.В. Козлова, Э.Ю. Тихонова***

Волжско-Каспийский филиал ВНИРО (КаспНИРХ),
414056, г. Астрахань, ул. Савушкина, 1

Аннотация. Весной 2023 г. в ходе проведения научно-исследовательского рейса на акватории Каспийского моря учеными ВНИРО (КаспНИРХ) в траловых уловах были обнаружены крупные особи нового для местной фауны моллюска. С применением молекулярно-генетических методов исследования, в том числе секвенирования участка гена цитохромоксидазы митохондриальной ДНК, данный вид идентифицирован как *Mytilus galloprovincialis* — черноморская мидия. В летний период в донных пробах экземпляры вселенца зарегистрированы в нескольких районах моря. Особенности биологии вида позволяют предположить его натурализацию в экосистему Каспия, что будет способствовать обогащению кормовой базы рыб и вовлечению моллюска-фильтратора в процессы самоочищения моря.

Ключевые слова: черноморская мидия, бентофауна, вид-вселенец, *Mytilus galloprovincialis*, Каспийское море

Для цитирования: Минакова Е.В., Жаткина О.В., Кашин Р.Д., Михайлова А.В., Козлова Н.В., Тихонова Э.Ю. О вселении черноморской мидии *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) в бассейн Каспийского моря // Изв. ТИПРО. — 2024. — Т. 204, вып. 3. — С. 602–608. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-602-608. EDN: OXCMJM.

* Минакова Елена Владимировна, главный специалист, minakovaev@kaspnirh.vniro.ru, ORCID 0009-0009-6671-6064; Жаткина Ольга Вячеславовна, ведущий специалист, zhatkinaov@kaspnirh.vniro.ru, ORCID 0009-0006-7805-6292; Кашин Роман Дмитриевич, старший специалист, kashinrd@kaspnirh.vniro.ru, ORCID 0009-0007-1632-6370; Михайлова Анна Викторовна, кандидат биологических наук, руководитель центра, mikhajlovaav@kaspnirh.vniro.ru, ORCID 0009-0007-8463-2599; Козлова Наталья Викторовна, кандидат биологических наук, заведующая лабораторией, kozlovanv@kaspnirh.vniro.ru, ORCID 0000-0002-2840-9647; Тихонова Элеонора Юрьевна, кандидат биологических наук, заведующая лабораторией, tikhonovaeyu@kaspnirh.vniro.ru, ORCID 0009-0007-7541-7395.

© Минакова Е.В., Жаткина О.В., Кашин Р.Д., Михайлова А.В., Козлова Н.В., Тихонова Э.Ю., 2024

Short message

On introduction of Black Sea mussel *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) to the Caspian Sea basin

**Elena V. Minakova^{1*}, Olga V. Zhatkina^{2*}, Roman D. Kashin^{3*},
Anna V. Mikhailova^{4*}, Natalya V. Kozlova^{5*}, Eleonora Yu. Tikhonova^{6*}**

^{1*–6*} Volga-Caspian branch of VNIRO (CaspNIRKH),

1, Savushkin Str., Astrakhan 414056, Russia

^{1*} chief specialist, minakovaev@kaspnirh.vniro.ru, ORCID 0009-0009-6671-6064

^{2*} leading specialist, zhatkinaov@kaspnirh.vniro.ru, ORCID 0009-0006-7805-6292

^{3*} senior specialist, kashinrd@kaspnirh.vniro.ru, ORCID 0009-0007-1632-6370

^{4*} Ph.D., head of center, mikhajlovaav@kaspnirh.vniro.ru, ORCID 0009-0007-8463-2599

^{5*} Ph.D., head of laboratory, kozlovanv@kaspnirh.vniro.ru, ORCID 0000-0002-2840-9647

^{6*} Ph.D., head of laboratory, tikhonovaeyu@kaspnirh.vniro.ru, ORCID 0009-0007-7541-7395

Abstract. Large-sized specimens of a new for the Caspian Sea mollusk were found in spring 2023 in trawl catches of the survey conducted by the Volga-Caspian branch (Casp-NIRKH) of the Russian Res. Inst. of Fisheries and Oceanography. Using molecular genetics research methods, including sequencing of the cytochrome oxidase gene of mitochondrial DNA, the species is identified as *Mytilus galloprovincialis* — the Black Sea mussel. In summer, the invaders were recorded in bottom samples in several areas of the sea. Features of the species biology allow its naturalization into the Caspian Sea ecosystem that will contribute to enrichment of the food base for fish and involve this filter-feeding mollusk to the processes of self-purification of the sea.

Keywords: Black Sea mussel, benthic fauna, invasive species, *Mytilus galloprovincialis*, Caspian Sea

For citation: Minakova E.V., Zhatkina O.V., Kashin R.D., Mikhailova A.V., Kozlova N.V., Tikhonova E. Yu. On introduction of Black Sea mussel *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) to the Caspian Sea basin, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 3, pp. 602–608. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-602-608. EDN: OXCMJM.

Введение

Уникальная экосистема Каспийского моря подвержена воздействию многих факторов, влияющих на биологическое разнообразие его флоры и фауны. Одним из типов антропогенного воздействия является интродукция чужеродных видов, последствия которой носят зачастую непредсказуемый характер.

Спонтанные вселения происходили в течение всей истории существования водоема. В геологическом прошлом через естественный пролив, соединявший Каспийское и Азовское моря, на месте которого в настоящее время существует Кумо-Манычская впадина, в Каспий попали морская трава *Zostera marina*, полихета *Fabricia sabella*, двустворчатый моллюск *Cerastoderma lamarcki*, атерина *Atherina boyeri caspia*, игла-рыба *Syngnathus abaster*, бычок *Pomatoschistus* [Кесслер, 1874; Бирштейн, 1936; Зенкевич, 1963].

В прошлом столетии процессы вселения чужеродных видов получили широкое развитие. Так, моллюск *Mytilaster lineatus*, являющийся одним из самых массовых организмов донной фауны, попал в Каспий в период гражданской войны путем переброски по железной дороге катеров из г. Батуми [Зенкевич, 1951]; в 1930-е гг. креветки *Palaemon adspersus* и *P. elegans* были завезены случайно при проведении работ по акклиматизации кефали [Логвиненко, 1959]. С введением в строй Волго-Донского и Волго-Балтийского каналов появились новые пути проникновения чужеродных видов в Каспийское море. К этому периоду относится вселение краба *Rhithropanopeus harrisi* [Небольсина, 1959], усоногих раков *Amphibalanus improvisus* и *A. eburneus*, которые расселились по всему морю и стали важными компонентами кормовой базы [Саенкова, 1956; Зевина, 1957]. Масштабной катастрофой для экосистемы Каспийского моря

стало вселение в конце прошлого века через балластные воды судов гребневика мнемииописа, который подорвал кормовую базу рыб и привел в упадок промысел кильки [Ivanov et al., 2000].

Проникновение в экосистему Каспия чужеродных видов носит не только стихийный, но и целевой характер. Примером успешной акклиматизации является плановое вселение многощетинкового червя *Hediste diversicolor* и двустворчатого моллюска *Abra ovata*, которые стали основой рациона многих ценных и промысловых рыб [Полянинова, 2007].

В последнее время участились случаи обнаружения гидробиологами КаспНИРХ новых видов-вселенцев, которые успешно натурализовались в структуру моря. Так, кольчатый червь маренцеллерия, обнаруженный в 2018 г., в настоящее время характеризуется широким распространением и является кормовым объектом бентосоядных рыб [Михайлова и др., 2021]. В 2022 г. в пробах зообентоса и в рационе сеголеток осетра в заметных количествах регистрировалась новая для бассейна мизиды *Mesopodopsis slabberi* [Минакова и др., 2023]. Позитивным моментом является обнаружение в более теплых и соленых частях моря, наряду с мнемииописом, его естественного врага — гребневика *Beroe ovata*, впервые встреченного в 2020 г. в Среднем Каспии [Саяпин и др., 2021].

Черноморская мидия *Mytilus galloprovincialis* является постоянным элементом бентофауны Средиземноморского бассейна. В последние десятилетия, с развитием мировой транспортной системы, этот вид моллюсков значительно расширил ареал и успешно натурализовался в морях Тихого и Индийского океанов, встречаясь у берегов Японии, Южной и Северной Кореи, западного побережья Северной и Южной Америки, Австралии и Африки [Branch et al., 2005; Hilbish et al., 2010]. Во внутренних морских водах Российской Федерации популяции черноморской мидии регистрировались только в бассейнах Черного и Азовского морей и у побережья Японского моря [Луцаенко, Колпаков, 2016].

Учитывая актуальность процессов внедрения чужеродных видов в Каспийское море, экологический мониторинг позволяет дать оценку современному состоянию и изменениям морской биоты под воздействием инвазий.

Материалы и методы

Сбор материала осуществлялся в ходе проведения научно-исследовательских экспедиций на НИС «Исследователь Каспия» в мае и августе 2023 г. Первые экземпляры моллюсков нового вида были обнаружены при разборе траловых уловов. После фиксации в 95 %-ном спирте найденные образцы были доставлены в институт для проведения генетического анализа.

ДНК-штрихкодирование — один из методов современной генетики, применяемый с целью однозначной видовой идентификации. Для животных, включая рыб, используются короткие вариабельные фрагменты генома, чаще всего гены цитохромоксидазы I и цитохрома Б митохондриальной ДНК [Макарова и др., 2021].

В лаборатории филиала были проведены генетические исследования обнаруженных животных. В процессе применяли метод выделения ДНК из мышечной ткани моллюска методом абсорбции на колонках (PALL) [Ivanova et al., 2006], амплификацию участка гена COI митохондриальной ДНК проводили с использованием праймеров: LC01490 (5'-ggctcaacaatcataaagatattgg-3') и HCO2198 (taaacctcagggtgaccsaataaatca-3') [Folmer et al., 1994]. Амплифицированные продукты использовали для секвенирования на генетическом анализаторе ABI-3500 (Applied Biosystems, USA). Нуклеотидные последовательности анализировали в программе Sequencing Analysis 5.4, выравнивание сиквенса осуществляли в программном пакете Mega 5 [Tamura et al., 2011].

В летнюю океанографическую съемку, проводимую на разрезах Среднего Каспия, пробы зообентоса отбирались дночерпателем «Океан-50» с площадью захвата 0,1 м² и после фиксации 4 %-ным раствором формалина доставлялись в лабораторию филиала.

Результаты и их обсуждение

В мае 2023 г. местонахождения крупных особей нового для местной фауны моллюска были приурочены к районам с глубинами 15–30 м и соленостью 12 ‰, температура воды в период данной съемки составляла 13–15 °С. Визуально экземпляры моллюсков были крупнее типичных представителей семейства мидиевых Каспийского моря *M. lineatus*, однако по внешним характеристикам очень схожи с последними. По морфологическим признакам обнаруженные особи были отнесены к представителям сем. Mytilidae (рис. 1).



Рис. 1. Первая находка *M. galloprovincialis* в мае 2023 г.

Fig. 1. First finding of *Mytilus galloprovincialis* in the Caspian Sea in May 2023

По результатам молекулярно-генетического анализа моллюска получена нуклеотидная последовательность фрагмента субъединицы I цитохромоксидазы длиной 655 пн. Исследованный образец в итоге BLAST-поиска в GenBank был идентифицирован как *M. galloprovincialis*.

В августе скопления мидий были обнаружены на акватории Среднего Каспия восточнее о. Чечень и вдоль южной части казахстанского побережья, на глубинах 29–60 м. Размеры выловленных особей колебались в пределах 9–53 мм, масса — 0,052–7,021 г (рис. 2). Наиболее крупные экземпляры регистрировались в водах Казахского залива. Соленость в местах обитания моллюсков составляла 13,0 ‰.

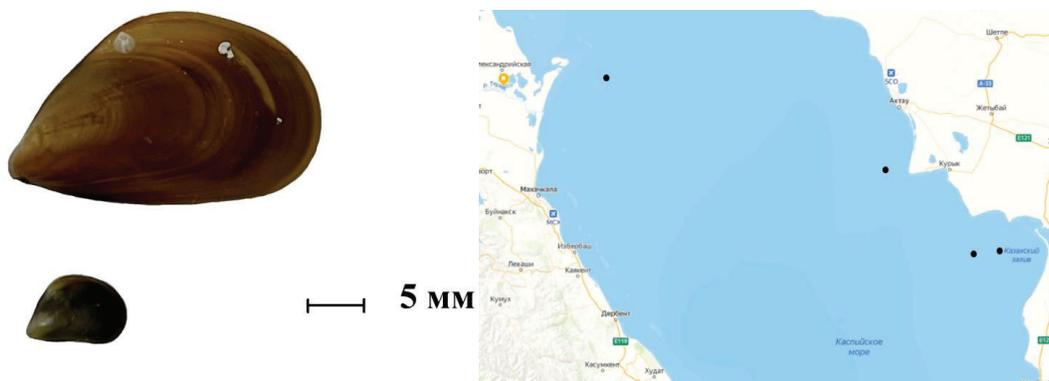


Рис. 2. Экземпляры *M. galloprovincialis*, обнаруженные в августе 2023 г.

Fig. 2. *Mytilus galloprovincialis* specimens collected in August 2023

Выводы

На основании проведенного исследования можно заключить, что процесс акклиматизации нового вселенца в экосистему Каспия уже находится на второй фазе развития — размножения и начала формирования популяции. На данном этапе определяющими факторами

являются абиотические (температура, соленость, газовый режим и т.д.). Биотические факторы играют подчиненную роль, так как из-за малой численности популяции паразиты и враги еще не оказывают существенного влияния. При успешном прохождении данного этапа в ближайшие годы можно ожидать резкого увеличения численности *M. galloprovincialis* и обострения противоречий переселенца с биотической средой.

В случае полной натурализации в уникальную экосистему Каспийского моря мелкие особи черноморской мидии могут стать ценным кормовым объектом рациона бентосоядных рыб, а планктонные личинки — пополнить пищевые ресурсы рыб-планктофагов; благодаря фильтрационному типу питания этот моллюск может играть важную роль в процессах самоочищения моря.

Однако вселение *M. galloprovincialis*, как и других новых видов, носит достаточно непредсказуемый характер и не исключает создания конкурентных отношений с представителями местной фауны. Изучение видов-вселенцев и процесса их акклиматизации в экосистему Каспийского моря требует дальнейшего пристального внимания ученых.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы благодарят команду НИС «Исследователь Каспия», которая обеспечила выполнение экспедиционных работ, а также за содействие при сборе материала в море.

The authors are thankful to the team of RV Issledovatel Kaspiya for assistance in collecting materials for the study.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование проведено на бюджетные средства.

The study was budget funded.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Сбор материалов к статье не сопровождался нанесением ущерба природе. Библиографические ссылки на все использованные источники оформлены в соответствии с правилами данного издания.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

All materials for the study were collected without harm to the nature. Bibliographic references to all used sources are formatted in accordance with the rules of this edition.

The authors state that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Е.В. Минакова — обнаружение вселенца, сбор и обработка материала, поиск необходимой литературы, частичная редакция статьи, подготовка графических рисунков. О.В. Жаткина, Р.Д. Кашин — сбор и обработка материала, обсуждение результатов. А.В. Михайлова — постановка задачи, анализ результатов. Н.В. Козлова — анализ генетического материала. Э.Ю. Тихонова — написание текста статьи, общая редакция статьи.

E.V. Minakova — detection of the invader, collecting and processing materials, literature review, illustrating and partial editing of the article; O.V. Zhatkina and R.D. Kashin — collecting and processing materials, discussing the results; A.V. Mikhailova — the research concept and the results analysis; N.V. Kozlova — genetic materials processing and analysis; E.Yu. Tikhonova — the text writing and general editing of the article.

Список литературы

Бирштейн Я.А. Рост и распространение *Cardium edule* заливов Мертвого Култука и Кайдака в Каспийском море в связи с соленостью // ДАН СССР. — 1936. — Т. 4, № 4. — С. 187–191.

Зевина Г.Б. Усоногие раки (*Balanus improvisus* Darwin и *B. eburneus* Gould) в обрастаниях судов и гидротехнических сооружений Каспийского моря // ДАН СССР. — 1957. — Т. 113, № 2. — С. 450–453.

- Зенкевич Л.А.** Биология морей СССР : моногр. — М. : АН СССР, 1963. — 739 с.
- Зенкевич Л.А.** Моря СССР. Их фауна и флора : моногр. — М. : Учпедгиз, 1951. — 368 с.
- Кесслер К.Ф.** Описание рыб, принадлежащих к семействам Черному и Каспийскому морям // Тр. Санкт-Петербург. о-ва естествоиспытателей. — 1874. — Т. 5, вып. 1. — С. 191–324.
- Логвиненко Б.М.** Новейшие вселенцы в Каспийское море // Природа. — 1959. — № 2. — С. 100–101.
- Лутаенко К.А., Колпаков Е.В.** Расширение ареала инвазивной мидии *Mytilus galloprovincialis* (Bivalvia: Mytilidae) в Японском море // Бюл. Дальневост. малакол. о-ва. — 2016. — Т. 20, № 1. — С. 57–76.
- Макарова Е.Г., Козлова Н.В., Барегамян М.А.** Полиморфизм генов цитохромоксидазы и цитохрома Б митохондриальной ДНК рыб семейства карповые (*Cyprinidae*) Волжско-Каспийского рыбохозяйственного бассейна // Каспий: прошлое, будущее, настоящее : сб. науч. статей. — Астрахань : Астраханский государственный университет, 2021. — С. 49–52.
- Миная Е.В., Жаткина О.В., Кашин Р.Д.** Натурализация мизид *Mesopodopsis slabberi* в бассейне Каспийского моря // Ресурсы дичи и рыбы: использование и воспроизводство : материалы 3-й Всерос. (нац.) науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию Красноярского государственного аграрного университета. — Красноярск : Красноярский государственный аграрный университет, 2023. — С. 283–286.
- Михайлова А.В., Попова Е.В., Шипулин В.С. и др.** О вселении представителей рода *Marenzelleria* (Polychaeta, Spionidae) в бассейн Каспийского моря // Рос. журн. биол. инвазий. — 2021. — Т. 14, № 3. — С. 45–49. DOI: 10.35885/1996-1499-2021-14-3-45-49.
- Небольсина Т.К.** Краб в Каспийском море // Природа. — 1959. — № 6. — С. 116–117.
- Полянинова А.А.** Виды-вселенцы в Каспии и их роль в экосистеме моря : моногр. — Астрахань : КаспНИРХ, 2007. — 104 с.
- Саенкова А.К.** Новое в фауне Каспийского моря // Зоол. журн. — 1956. — Т. 35, № 5. — С. 678–679.
- Саяпин В.В., Ушивцев В.Б., Олейников Е.П., Досаев Ф.Г.** Гребневик *Beroe ovata* Bruguère 1789 — новый вселенец в экосистеме Каспийского моря // Океанол. — 2021. — Т. 61, № 5. — С. 753–758. DOI: 10.31857/S0030157421050129.
- Branch G.M., Branch M.L., Griffiths C.L. & Beckley L.E.** Two Oceans: a guide to the marine life of southern Africa. — David Philip, 2005. — 359 p.
- Folmer O., Black M., Hoeh W. et al.** DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome C oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates // Mol. Mar. Biol. Biotechnol. — 1994. — № 3. — P. 294–299.
- Hilbish T.J., Brannock P.M., Jones K.R. et al.** Historical changes in the distributions of invasive and endemic marine invertebrates are contrary to global warming predictions: the effects of decadal climate oscillations // J. Biogeography. — 2010. — Vol. 37, Iss. 3. — P. 423–431. DOI: 10.1111/j.1365-2699.2009.02218.x.
- Ivanov V.P., Kamakin A.M., Ushivtzev V.B. et al.** Simultaneous invasion of the Caspian Sea by the comb jellyfish *Mnemiopsis leidyi* (Ctenophora) // Biol. Invasions. — 2000. — Vol. 2, Iss. 3. — P. 255–258.
- Ivanova N.V., deWaard J.R., Hebert P.D.N.** An inexpensive, automation friendly protocol for recovering high quality DNA // Mol. Ecology Notes. — 2006. — Vol. 6, Iss. 4. — P. 998–1002. DOI: 10.1111/j.1471-8286.2006.01428.x.
- Tamura K., Peterson D., Peterson N. et al.** MEGA5: Molecular evolutionary genetics analysis using maximum likelihood, evolutionary distance, and maximum parsimony methods // Mol. Biol. Evol. — 2011. — Vol. 28, Iss. 10. — P. 2731–2739. DOI: 10.1093/molbev/msr121.

References

- Birshtein, Ya.A.**, Growth and distribution of *Cardium edule* in the bays of Mertvyi Kultuk and Kaydak in the Caspian Sea in connection with salinity, *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, 1936, vol. 4, no. 4, pp. 187–191.
- Zevina, G.B.**, Barnacles (*Balanus improvisus* Darwin and *B. eburneus* Gould) in fouling of ships and hydraulic structures of the Caspian Sea, *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, 1957, vol. 113, no. 2, pp. 450–453.
- Zenkevich, L.A.**, *Biologiya morey SSSR* (Biology of the seas of the USSR), Moscow: Akad. Nauk SSSR, 1963.
- Zenkevich, L.A.**, *Morya SSSR. Ikh fauna i flora* (Seas of the USSR. Their fauna and flora), Moscow: Uchpedgiz, 1951.

Kessler, K.F., Description of fish belonging to families common to the Black and Caspian seas, *Tr. Sankt-Peterburg. o-va yestestvoispytateley*, 1874, vol. 5, no. 1, pp. 191–324.

Logvinenko, B.M., Newest invaders in the Caspian Sea, *Priroda*, 1959, no. 2, pp. 100–101.

Lutaenko, K.A. and Kolpakov, E.V., The expansion of the distributional range of an invasive mussel, *Mytilus galloprovincialis* (Bivalvia: Mytilidae) in the Sea of Japan, *Byull. Dal'nevost. Malakologicheskogo O-va*, 2016, vol. 20, no. 1, pp. 57–76.

Makarova, E.G., Kozlova, N.V., and Baregamyan, M.A., Polymorphism of cytochrome oxidase and cytochrome B of mitochondrial DNA fishes of the cyprinids family (*Cyprinidae*) of the Volga-Caspian fishery basin, in *Caspian Sea: past, future, present*, Astrakhan: Astrakh. Gos. Univ., 2021, pp. 49–52.

Minakova, E.V., Zhatkina, O.V., and Kashin, R.D., Naturalization of mysids *Mesopodopsis slabberi* in the Caspian Sea basin, in *Resursy dichi i ryby: ispol'zovaniye i vosproizvodstvo, mat-ly 3-y Vseros. (nats.) nauch.-prakt. konf., posvyashchennoy 70-letiyu Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* (Game and fish resources: use and reproduction, Proc. of the 3rd All-Russian (national) scientific and practical conference dedicated to the 70th anniversary of the Krasnoyarsk State Agrarian University), Krasnoyarsk: Krasnoyarsk. Gos. Agrarn. Univ., 2023, pp. 283–286.

Mikhailova, A.V., Popova, E.V., Shipulin, V.S., Maksimov, A.A., Plotnikov, I.S., and Aladin, N.V., On the invasion of the genus *Marenzelleria* (Polychaeta, Spionidae) representatives into the Caspian Sea basin, in *Russian Journal of Biological Invasions*, 2021, vol. 14, no. 3. pp. 45–49. doi 10.35885/1996-1499-2021-14-3-45-49

Nebolsina, T.K., Crab in the Caspian Sea, *Priroda*, 1959, no. 6, pp. 116–117.

Polyaninova, A.A., *Vidy-vselentsy v Kaspii i ikh rol' v ekosisteme morya* (Invasive species in the Caspian Sea and their role in the sea ecosystem), Astrakhan: Kasp. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz., 2007.

Saenkova, A.K., New in the fauna of the Caspian Sea, *Zool. Zh.*, 1956, vol. 35, no. 5, pp. 678–679.

Sayapin, V.V., Ushivtsev, V.B., Oleynikov, E.P., and Dosaev, F.G., Ctenophore *Beroe ovata* Bruguière 1789 — a new invader in the ecosystem of the Caspian Sea, *Oceanology*, 2021, vol. 61, no. 5, pp. 662–667. doi 10.1134/S000143702105012X

Branch, G.M., Branch, M.L., Griffiths, C.L., and Beckley, L.E., *Two Oceans: a guide to the marine life of southern Africa*, David Philip, 2005.

Folmer, O., Black, M., Hoeh, W., Lutz, R., and Vrijenhoek, R., DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome C oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates, *Mol. Mar. Biol. Biotechnol.*, 1994, no. 3, pp. 294–299.

Hilbish, T.J., Brannock, P.M., Jones, K.R., Smith, A.B., Bullock, B.N., and Wetthey, D.S., Historical changes in the distributions of invasive and endemic marine invertebrates are contrary to global warming predictions: the effects of decadal climate oscillations, *J. Biogeography*, 2010, vol. 37, no. 3, pp. 423–431. doi 10.1111/j.1365-2699.2009.02218.x

Ivanov, V.P., Kamakin, A.M., Ushivtsev, V.B., Shiganova, T.A., Zhukova, O., Aladin, N., Susan, I., Wilson, S.I., Harbison, G.R., and Dumont, H.J., Simultaneous invasion of the Caspian Sea by the comb jellyfish *Mnemiopsis leidyi* (Ctenophora), *Biol. Invasions*, 2000, vol. 2, no. 3, pp. 255–258.

Ivanova, N.V., deWaard, J., and Hebert, P.D.N., An inexpensive, automation friendly protocol for recovering high quality DNA, *Mol. Ecology Notes*, 2006, vol. 6, no. 4, pp. 998–1002. doi 10.1111/j.1471-8286.2006.01428.x

Tamura, K., Peterson, D., Stecher, G., Nei, M., and Kumar, S., MEGA5: Molecular evolutionary genetics analysis using maximum likelihood, evolutionary distance, and maximum parsimony methods, *Mol. Biol. Evol.*, 2011, vol. 28, no. 10, pp. 2731–2739. doi 10.1093/molbev/msr121

Поступила в редакцию 22.05.2024 г.

После доработки 26.06.2024 г.

Принята к публикации 13.09.2024 г.

The article was submitted 22.05.2024; approved after reviewing 26.06.2024;
accepted for publication 13.09.2024

**УСЛОВИЯ ОБИТАНИЯ ПРОМЫСЛОВЫХ ОБЪЕКТОВ
ENVIRONMENTS OF FISHERIES RESOURCES**

Научная статья

УДК 502.51(265.54):504.5

DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-609-628

EDN: RNOTHA

**СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛОВ В МОРСКОЙ СРЕДЕ ПРИБРЕЖНЫХ
АКВАТОРИЙ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО ЯПОНСКОГО МОРЯ****О.В. Бадмаев***

Дальневосточный региональный научно-исследовательский
гидрометеорологический институт,
690091, г. Владивосток, ул. Фонтанная, 24

Аннотация. Рассматривается общее содержание фенолов в морской воде и донных отложениях отдельных акваторий зал. Петра Великого в период 1998–2022 гг. Средне-многолетние значения во всех исследованных акваториях были выше предельно допустимой концентрации фенола в водных объектах рыбохозяйственного значения, но вполне сравнимы с фоновой концентрацией фенолов в незагрязненных поверхностных водах. Чаще всего пики концентраций фенолов в морской воде и донных осадках наблюдались на станциях, расположенных вблизи впадения рек, в связи с чем ключевое влияние на загрязнение фенолами акватории зал. Петра Великого отводится стоку рек: Раздольной в Амурском заливе, Шкотовки и Артемовки в Уссурийском заливе и Объяснения в бухте Золотой Рог. Другими существенными источниками загрязнения являются городские сточные воды, сбрасываемые в восточной части Амурского залива, судостроительные и судоремонтные заводы, а также эксплуатация морских судов. Несмотря на тенденцию к снижению содержания фенолов в воде для всех акваторий, в 2019–2022 гг. отмечалось интенсивное загрязнение донных отложений Уссурийского залива.

Ключевые слова: мониторинг, фенолы, загрязнение, экологическое состояние, залив Петра Великого

Для цитирования: Бадмаев О.В. Содержание фенолов в морской среде прибрежных акваторий залива Петра Великого Японского моря // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 3. — С. 609–628. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-609-628. EDN: RNOTHA.

Original article

**Phenol content in the marine environments of the coastal waters
in Peter the Great Bay, Japan Sea****Oleg V. Badmaev**

Far-Eastern Regional Hydrometeorological Research Institute,
24, Fontannaya Str., Vladivostok, 690091, Russia
leading engineer, badmaevoleg@gmail.com, ORCID 0009-0001-2136-7413

Abstract. Total content of phenols in seawater and bottom sediments of some water areas in Peter the Great Bay in 1998–2022 is considered. Mean annual values of phenol con-

* Бадмаев Олег Васильевич, ведущий инженер, badmaevoleg@gmail.com, ORCID 0009-0001-2136-7413.

© Бадмаев О.В., 2024

centration exceeded the maximum allowable level for the water of fishing grounds but were comparable with the background concentrations in water and bottom sediments. Peaks of phenol concentration were usually observed in the estuaries of rivers, so the rivers are considered as the main source of phenol pollution: the Razdolnaya in the Amur Bay, the Shkotovka and Artemovka in the Ussuri Bay, and the Obyasnenie in the Zolotoy Rog Bay. Other significant sources of pollution were the urban wastewater discharged to the eastern Amur Bay and wastes of shipbuilding and ship repair plants and marine vessels. Downward trend of the total phenol content was revealed for all water areas, but pollution of bottom sediments by phenols was still high in the Ussuri Bay in 2019–2022.

Keywords: monitoring, phenol, pollution, ecological condition, Peter the Great Bay

For citation: Badmaev O.V. Phenol content in the marine environment of the coastal waters in Peter the Great Bay, Japan Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 3, pp. 609–628. (In Russ). DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-609-628. EDN: RNOTHA.

Введение

Среди тысяч загрязняющих веществ в морской среде фенолы занимают особое место в связи с их высокой токсичностью и масштабностью распространения. Фенолы — большая группа химических веществ, список которых увеличивается с каждым годом. Мировое производство фенолов для промышленных нужд занимает одно из первых мест среди синтетических ароматических соединений [Груздев, 2016], а потребление в 2019 г. превысило 10 млн т, ежегодно увеличиваясь на 3 % [Li et al., 2024]. Производные фенола широко используются практически во всех сферах деятельности человека, масштабы их использования невозможно переоценить.

Фенольные соединения крайне неблагоприятно влияют на процессы внутри водоёмов: включаются в пищевые цепи, прямо или косвенно воздействуют на рост и развитие водных организмов, а также человека [Янин, 2004]. Ущерб биоте от фенолов сопоставим с воздействием нефтяных углеводородов, металлов, детергентов [Недоросткова, 2001; Огородникова, 2001; Li et al., 2024].

Моря Российской Федерации в разной степени испытывают влияние загрязнения фенолом. Наиболее высокие уровни загрязнения наблюдаются в устьях рек, где размещены различные промышленные предприятия, а также крупные населенные пункты*. В арктических морях основными источниками загрязнения являются промышленные стоки и речной лесосплав, в результате которого разложение плавучей древесины приводило к появлению большого количества фенолов в воде (8–10 мкг/л) [Нерсесов, Римский-Корсаков, 2021]. Высокие уровни содержания фенолов в донных осадках (до 6,6 мкг/л) регистрировали на акватории морских портов Охотского моря — Холмск, Поронайск, в зал. Анива, тогда как большая часть акватории шельфа о. Сахалин имеет невысокий уровень загрязнения фенолами (в среднем, 2,5 мкг/г) [Лишавская и др., 2005]. Уровни содержания фенолов в воде и осадках Амурского залива и бухты Золотой Рог в 90-е гг. прошлого столетия составляли соответственно 4,0 и 5,0 мкг/л в морской воде, 0,7 и 0,8 мкг/г — в донных осадках [Tkalin et al., 1993]. В настоящее время реками побережья Японского моря в воды бассейна сбрасывается 979,762 кг фенолов*.

Поступление фенолов и их производных в морскую среду может быть обусловлено как антропогенными, так и природными процессами. Назовем **антропогенные источники**.

Сбросы химической, фармацевтической, деревообрабатывающей, мебельной и целлюлозно-бумажной промышленности. Фенольные соединения содержатся в сточных водах предприятий по производству пластмасс, резины, лаков, красок, кле-

* Ежегодник качества морских вод по гидрохимическим показателям (Японское море) за 2021 год. Владивосток: ПУГМС, 2022. 215 с.

ев, пластификаторов, антисептиков, фенолформальдегидных смол, лекарств, средств бытовой химии и ядохимикатов, где они используются в качестве основных или промежуточных продуктов. Стоки таких производств являются основным антропогенным источником загрязнения биосферы фенолом, концентрация которого может достигать сотен миллиграммов на кубический дециметр [Соловьева, Пенкин, 2009; Андреев, 2014; Груздев, 2016].

Хозяйственно-бытовые сточные воды и ливневой сток. Благодаря широкому спектру и масштабности применения фенольных соединений в быту сточные воды содержат огромное количество этих соединений. Высокотоксичные хлорфенолы образуются при обеззараживании питьевой воды хлором, в результате дезинфекции пищевых предприятий, медицинских учреждений, транспорта, а также при использовании хлорсодержащих чистящих и отбеливающих средств на предприятиях и в быту [Батов и др., 2005]. Широко используемые антисептики, например триклозан (5-хлоро-2-(2,4-дихлорфенокси) фенол), входят в состав мыла, дезодорантов, зубных паст. Креозот, представляющий собой смесь метилфенолов, используется в качестве консерванта древесины для обработки шпал на железнодорожных путях и деревянных опор [Груздев, 2016]. С ливневым стоком в морскую среду поступают токсичные соединения, в том числе и фенольные, смытые с запредельно грязных городских территорий.

Стоки сельскохозяйственных угодий и животноводческих ферм. В сельском хозяйстве широко используют пестициды — гербициды, инсектициды и фунгициды, содержащие в качестве действующего начала фенольные соединения. Так, на основе хлорфенолов применяются гербициды 2,4-Д, 2,4,5-Т, пентахлорфенол [Андреев, 2014]; инсектицид трихлорметафос-3 [Сибгатуллин и др., 2007]; на основе нитрофенолов — пестициды ДНФ (2,4-динитрофенол), ДНОК (2-метил-4,6-динитрофенол) и др., а также метилфенолов — метоксона, ландрина [Груздев, 2016].

Особое место занимает гербицид 2,4-Д (2,4-дихлорфеноксиуксусная кислота и ее производные), который является одним из старейших и наиболее широкодоступных гербицидов и дефолиантов в мире. Гербицид коммерчески доступен с 1945 г. и в настоящее время производится многими химическими компаниями, поскольку срок действия патента на него давно истек. Он содержится в многочисленных смесях с гербицидами и используется в качестве средства от сорняков при выращивании зерновых культур, на пастбищах и садах. В РФ ежегодно используется более 70 000 т гербицида 2,4-Д [Федоров, Яблоков, 1999; Ахметченко и др., 2014].

Период разложения на 95 % внесенного ядохимиката 2,4-Д в почвах варьирует от 10 до 170 сут. После применения гербицид легко переносится в подземные воды из-за его высокой растворимости (600 мг/л при 25 °С) [Хмелевская и др., 2016]. В водной среде гербицид 2,4-Д при воздействии ультрафиолета разлагается с образованием токсичного 2,4-дихлорфенола [Андреев, 2014].

Инсектицид трихлорметафос-3 широко используется для борьбы с насекомыми крупного рогатого скота, в организме которых образуются его метаболиты — моно-, ди-, трихлорфенолы. Главным метаболитом является 2,4,5-трихлорфенол, который токсичнее исходного соединения в 2–3 раза. Кроме того, образуются 2,4-дихлорфенол и орто-хлорфенол [Методические указания, 1982*; Сибгатуллин и др., 2007].

Следует упомянуть и еще один инсектицид, продуктами распада которого являются фенолы, — линдан, или γ -изомер гексахлорциклогексана (γ -ГХЦГ). Так, метаболизм линдана в культурах плесневых грибов и организмах теплокровных животных и человека происходит с образованием 2,4,6-трихлорфенола и 2,3,4,6-тетрахлорфенола [Энгст и др., 1978; Илларионова и др., 2022]. Линдан применялся в качестве основного средства для борьбы с гусеницами, почвообитающими насекомыми, широко ис-

* Методические указания по определению трихлорметафоса-3 и его метаболитов в биологическом материале методом газожидкостной хроматографии. № 2647–82.

пользовался для фумигации складских помещений, а также для обработки древесины, мехов, натуральной шерсти с целью защиты от порчи насекомыми. На постсоветском пространстве линдан используется как лекарственный препарат для борьбы с чесоткой и педикулезом.

Таким образом, широкое применение в сельском хозяйстве пестицидов, промежуточными продуктами разложения которых являются фенолы, обуславливает значительное поступление этих токсикантов в водные экосистемы в результате вымывания их из почвы.

Производственные процессы судоремонтных и судостроительных компаний. В процессе строительства и ремонта образуется огромный объем отходов и загрязняющих веществ, основная часть которых представлена летучими органическими веществами (52 %), в том числе фенолами. Для подготовки и отделки поверхности корпуса судна используется большое количество химических веществ — моющих средств, смазочных материалов и растворителей, растворов для металлических покрытий, красок, полимеризованных смол, содержащих фенольные соединения. Процессы окраски и нанесения покрытий происходят практически на каждом участке верфи. В процессе судостроения и ремонта образуются жидкие отходы, в том числе моечная вода, замасленная вода от мойки трюмов и резервуаров, моторные жидкости, гидравлические жидкости, смазки и антифриз. Стоки с территории завода захватывают масла и мусор, накопившиеся в доках, и выносят в море [Картамышева, Иванченко, 2018].

Химическое окисление и фотолит нефтепродуктов. Химические превращения нефти в море носят в основном окислительный характер, а на морской поверхности они обычно сопровождаются фотохимическими реакциями под воздействием УФ-излучения. К промежуточным продуктам окисления относятся и фенолы, обычно имеющие повышенную растворимость в воде и повышенную токсичность [Патин, 1997]. Таким образом, разливы сырой нефти и сбросы нефтепродуктов — моторного топлива, смазочных масел и т.д., в которых дополнительно в качестве присадок используются соединения фенолов, являются одной из причин появления фенольных соединений в морских водах. В Невской губе Балтийского моря превышение содержания фенолов в воде (до 47 ПДК) относят на счет трансформации нефтяных углеводородов, попадающих в воду как из-за потерь при транспортировке, так и вследствие эксплуатации различных видов водного транспорта [Тютюнник и др., 2018].

Природные источники. В водной среде фенолы образуются в результате биохимической деструкции и трансформации органических веществ воды и донных отложений (гумуса, лигнина и фульвовых кислот), а также в процессе метаболизма водных организмов. Содержание фенолов в незагрязненных поверхностных водах не превышает 0,3 мкг/л [Долматова и др., 2004; Андреев, 2014; Груздев, 2016].

Отдельные хлорфенолы (ди- и трихлорфенолы) продуцируют некоторые виды почвенных грибов, лишайников, насекомых. 2,4,6-трихлорфенол считается самым распространенным хлорфенолом природного происхождения, который обнаружен в незагрязненных озерных и речных водах Швеции и Финляндии [Батоев и др., 2005]. Огромное количество природных фенолов присутствует в таежных и тундровых реках РФ, а наибольшее содержание характерно для болотных вод. Обогащение природных вод фенолами происходит благодаря разложению торфа и гниению топляка [Овечкин, Овечкина, 2016; Нерсесов, Римский-Корсаков, 2021]. Метилфенолы найдены в эфирных маслах многих наземных хвойных и цветковых растений [Груздев, 2016].

Фенольные соединения находят как в клетках, так и в среде обитания морских и пресноводных водорослей: бурые водоросли выделяют их до 1 г на квадратный метр [Сиротский, Климин, 2009]. В дальневосточных бурых водорослях общее содержание полифенолов может меняться от 0,4 мг/г сухой массы у *Saccharina cichorioides* до 6,2 мг/г сухой массы у *Fucus evanescens* [Аминина и др., 2020]. В зал. Петра Великого широкий спектр полифенолов и высокое их содержание обнаружены в морской траве *Zostera asiatica* и *Z. marina* [Аминина и др., 2021].

Поступая в морскую среду, фенольные соединения, например хлорфенолы, могут активно сорбироваться из воды взвесью и накапливаться в донных отложениях до значительных концентраций. Фенолы — соединения нестойкие и подвергаются биохимическому и химическому окислению, зависящему от температуры воды (с ростом температуры скорость распада всех фенолов увеличивается), величины рН, содержания кислорода, УФ-излучения и ряда других факторов [Долматова и др., 2004; Янин, 2004]. Концентрации фенолов в речных водах подвержены заметным сезонным изменениям: их содержание в воде летом падает и увеличивается при понижении температуры [Долматова и др., 2004].

Скорость деструкции для различных фенольных соединений в воде неодинакова и зависит как от химического строения, так и от внешних условий. Простые фенолы под действием солнечного света, кислорода и микроорганизмов полностью распадаются за 7 дней [Некрасова и др., 2019]. В то же время полихлорфенолы более устойчивы по сравнению с нехлорированными аналогами. В воде в аэробных условиях период полураспада пентахлорфенола оценивается от 72–80 до 100 дней [Янин, 2004; Андреев, 2014].

В донных отложениях устойчивость полихлорфенолов еще выше, так как их деградация существенно ускоряется при действии УФ-излучения, которое поглощается водной толщей. Поскольку хлорпроизводные фенола являются слабыми кислотами, степень сорбции зависит от величины рН, уменьшаясь в щелочной среде, а также от количества органического вещества в составе отложений [Андреев, 2014].

Большое влияние на содержание фенолов в донных отложениях оказывает тип осадков (ил, песок). В случае илов проявляется так называемый «иловый эффект», когда фенолы распадаются в результате преобладания биохимических процессов окисления фенолов над физико-химическими процессами — окислением растворенным кислородом, адсорбцией донными отложениями [Долматова и др., 2004]. В целом деградация фенолов в донных отложениях включает последовательные процессы деароматизации, карбоксилирования и разложения до метана и углекислого газа [Zhang, Wiegel, 1990].

Кроме того, в морской среде могут происходить процессы, обратные разложению фенольных соединений. Так, нитрофенолы могут образовываться в водной среде при взаимодействии обычного фенола с нитрит-ионами в присутствии УФ-излучения [Андреев, 2014; Груздев, 2016].

Водные растения могут активно поглощать фенолы. Одно растение камыша озерного *Scirpus lacustris* при биомассе 100 г извлекает из воды до 4 мг монофенола, а также производные фенола: крезол, ксиленол, пирокатехин, резорцин, гидрохинон, пирогаллол, пиридин и др. Список видов, способных извлекать из воды фенольные соединения, постоянно расширяется [Кислицина, 2017].

Содержание фенолов в водной среде отличается высокой сезонной изменчивостью, что является общей тенденцией, наблюдаемой в различных регионах мира. Наиболее высокие концентрации фенолов в водной среде отмечаются во влажный сезон, когда осадки наиболее интенсивны [Zhou et al., 2017].

Таким образом, токсичность этих соединений и широкое распространение в биосфере обуславливают необходимость постоянного наблюдения за их содержанием в морской среде.

Цель данного исследования — оценить уровень загрязнения фенолами вод и донных отложений отдельных акваторий зал. Петра Великого (заливов Амурский, Уссурийский, бухты Золотой Рог, прол. Босфор Восточный) в современных условиях, проанализировав многолетнюю изменчивость их содержания, и выявить возможные пути поступления фенольных соединений в морскую среду залива.

Материалы и методы

Для оценки загрязнения морской среды пробы воды и донных отложений отбирали на станциях государственной сети наблюдений (ГСН) в 1998–2022 гг. Отбор проб

воды для каждой станции выполняли с периодичностью 2–3 раза в год: в апреле-мае, июне-августе и сентябре-октябре. Однако в отдельные годы отбор проб воды для некоторых станций производился ежемесячно в период с марта по ноябрь. Отбор проб донных отложений, как правило, проводили 2 раза в год — в апреле-июне и сентябре-октябре. Исключением является 2003 г., когда отбор проб воды и донных осадков вовсе не выполняли.

Пробы воды отбирали батометром на двух или трех горизонтах — поверхность (до 0,8 м), придонный слой и промежуточный (10 м) — в зависимости от глубины места. В работе использованы данные 27 станций в заливах Амурском, Уссурийском, прол. Босфор Восточный, бухтах Золотой Рог и Диомид в интервале глубин 3–67 м (рис. 1).

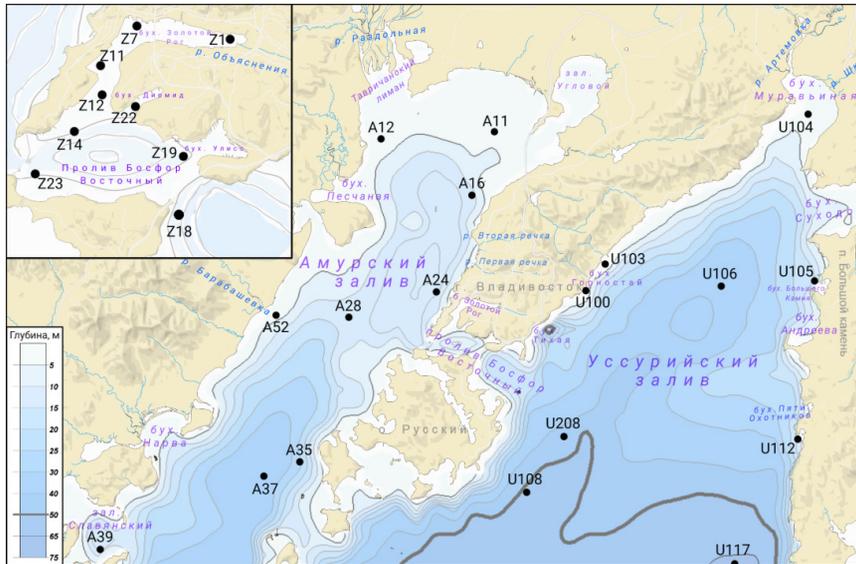


Рис. 1. Схема расположения станций ГСН на исследуемых акваториях
 Fig. 1. Sampling location

Суммарное содержание фенолов в воде и донных отложениях анализировали в лаборатории мониторинга загрязнения природных вод и почв Приморского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Анализ содержания фенолов в воде выполняли согласно методике (ПНД Ф 14.1:2:4.182-02). Метод основан на экстракции фенолов из воды бутилацетатом, реэкстракции их раствором щёлочи и измерении массовой концентрации на анализаторе «Флюорат 02-2М» по интенсивности флюоресценции фенолов после подкисления реэкстракта. Минимально определяемая концентрация фенола — 0,5 мкг/л, погрешность 65 % при доверительной вероятности $P = 0,95$.

Определение фенолов в грунте выполняли спектрофотометрическим методом. Пробу, отобранную из поверхностного слоя грунта (50 см^3), консервировали концентрированной соляной кислотой (5 см^3) и до проведения анализа хранили в морозильной камере. Метод основан на извлечении фенолов из проб донных осадков щелочью с последующим определением продуктов конденсации определяемых фенолов с 4-аминоантипирином. Оптическую плотность переведённых в раствор фенолов измеряли на фотоэлектроколориметре КФК-3. Минимально определяемая масса фенолов — 5,0 или 0,5 мкг на 1 г сухой массы донных осадков в пробе; относительное стандартное отклонение не более 10 %*.

* Методика измерений спектрофотометрическим методом. Массовая доля фенолов в пробах почв и донных отложений пресных и морских водных объектов с 4-аминоантипирином. Ростов н/Д, 2020. 10 с.

Для анализа многолетних данных использованы материалы базы данных, структурированной в Региональном центре океанологических данных по дальневосточному региону (ДВНИГМИ).

Станции ГСН расположены в относительно изолированных заливах Амурском, Уссурийском, бухте Золотой Рог и в прол. Босфор Восточный, соединяющем эти акватории. Поскольку источники поступления фенолов в указанных акваториях могут быть разными, загрязнение морской среды в дальнейшем рассматривается по отдельности в каждой акватории.

В бухте Золотой Рог анализировали данные, полученные на станциях Z1, Z7, Z11 и Z12; в прол. Босфор Восточный — Z14, Z18 и Z23. Материалы, полученные в бухтах Диомид и Улисс, не использовали по причине малой репрезентативности наблюдений вследствие нерегулярности проводимых здесь отборов проб.

Средние значения концентрации фенолов в морской воде определяли путем осреднения данных отбора проб для каждой станции на всех наблюдаемых горизонтах, затем данные осредняли для каждой акватории.

Результаты и их обсуждение

Морская вода. Как следует из анализа многолетних данных, наиболее загрязненной является бухта Золотой Рог (табл. 1). Так, среднемноголетнее содержание фенолов в водной толще бухты составило 2,6 мкг/л. Концентрации фенольных соединений в Амурском заливе и в прол. Босфор Восточный ниже — 1,9 мкг/л. В наиболее «чистом» Уссурийском заливе эта величина не превышала 1,5 мкг/л. Следует отметить, что наибольшие значения концентраций фенолов наблюдались в поверхностном слое. Все измеренные значения были выше предельно допустимой концентрации фенола в водных объектах рыбохозяйственного значения (1 мкг/л)*, но вполне сравнимы с фоновой концентрацией фенолов в незагрязненных поверхностных водах (< 2 мкг/л)**.

Как свидетельствуют результаты изучения долговременной динамики концентраций фенолов с 1998 по 2022 г. (рис. 2), наибольшее содержание фенолов в водах исследованных акваторий регистрировалось в период с 1998 по 2004 г. с максимумом в 1998 г. После некоторого снижения в 2005–2006 гг. рост концентраций возобновился. Следующие менее выраженные пики значений среднегодовых концентраций были в 2008, 2014, 2020 и 2022 гг. (рис. 2). Заметно, что для всех акваторий наблюдается убывающий тренд.

Пространственное распределение среднемноголетних концентраций фенолов в водной толще показывает, что наибольшие их значения наблюдаются в прибрежных станциях и областях, локализованных в районах интенсивной хозяйственной деятельности (рис. 3). Рассмотрим случаи максимальных уровней концентраций фенолов, их локализацию и вариабельность.

В 1998–2022 гг. наибольшую частоту максимумов концентраций фенолов отмечали в бухте Золотой Рог, где максимальные концентрации в толще воды могут достигать 28 ПДК, что превышает фон более чем в 10 раз. Чаще всего случаи максимального содержания фенолов в воде отмечали в кутовой части бухты (ст. Z1) в зоне влияния р. Объяснения (12 случаев ежегодных максимальных значений за 24 года наблюдения). Концентрации варьировали от 1,6 в апреле 2013 и августе 2021 гг. до 28,0 мкг/л в июне 1998 г.

В Амурском заливе в этот же период случаи максимальных концентраций чаще наблюдали в приустьевом участке р. Раздольной (ст. A12 — 8 случаев). Причем эти

* Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. М.: ВНИРО, 1999. 306 с.

** Environment Canada. Canadian water quality guidelines for phenols. Supporting document. Environment Canada, Environmental Quality Branch, Ottawa, 1998. Unpub. draft doc.

Некоторые статистические характеристики содержания фенолов в морской воде
исследуемых акваторий в 1998–2022 гг., мкг/л

Table 1

Some statistical characteristics of phenols concentration in water column in 1998–2022, by areas,
ppb

Горизонт	<i>n</i>	<i>M</i>	$\pm SE$	<i>Min</i>	<i>Max</i>
Бухта Золотой Рог					
Поверхность	411	2,9	0,1	0,0	28,0
10 м	199	2,0	0,1	0,0	8,0
Придонный слой	409	2,5	0,1	0,0	15,4
Вся толща воды	1019	2,6	0,1	0,0	28,0
Прол. Босфор Восточный					
Поверхность	562	2,1	0,1	0,0	13,8
10 м	441	1,8	0,1	0,0	13,0
Придонный слой	522	1,8	0,1	0,0	13,3
Вся толща воды	1525	1,9	0,0	0,0	13,8
Амурский залив					
Поверхность	757	2,0	0,1	0,0	18,0
10 м	488	1,9	0,1	0,0	44,0
Придонный слой	696	1,8	0,1	0,0	17,0
Вся толща воды	1941	1,9	0,1	0,0	44,0
Уссурийский залив					
Поверхность	559	1,5	0,1	0,0	17,0
10 м	353	1,5	0,1	0,0	14,0
Придонный слой	540	1,5	0,1	0,0	12,0
Вся толща воды	1452	1,5	0,0	0,0	17,0

Примечание. Здесь и далее: *n* — число измерений; *M*, *Min* и *Max* — среднее, минимальное и максимальное значения, *SE* — ошибка репрезентативности.

максимумы были отмечены в разные месяцы. Содержание фенолов в периоды максимумов на ст. А12 (2000, 2002, 2006–2007, 2013, 2019–2020, 2022 гг.) варьировало от 1,6 мкг/л в сентябре 2019 г. до 18,0 мкг/л в августе 2002 г.

На другой станции приустьевом участка (ст. А11) зафиксировано 4 случая максимальной концентрации фенолов (2001, 2005, 2010, 2017 гг.), а пределы изменений значений составили 1,7–6,0 мкг/л.

В восточной части Амурского залива на ст. А16 пики регистрировали реже — в пяти (1998–1999, 2012, 2014, 2018 гг.). При этом абсолютный максимум содержания был отмечен именно на этой станции (44,0 мкг/л) в июне 1998 г., а пределы изменения значений составляли 3,2–44,0 мкг/л. Следует отметить, что на этой станции часто регистрировались концентрации, близкие к максимальным, а величина содержания в июне 1998 г. сравнима с уровнем экстремально-высокого загрязнения — 50 ПДК*.

Принимая во внимание наибольшее число случаев максимального содержания фенолов в приустьевом участке залива (ст. А12 — восемь случаев; ст. А11 — четыре), можно сделать вывод о преобладающем влиянии стока р. Раздольной на содержание фенолов в водах Амурского залива. Однако также весьма значительную долю фенолов поставляют сбросы сточных вод в восточной части залива (ст. А16, А24), где пики концентраций фиксируются реже, но значения содержания фенолов иногда превышают аналогичные величины в кутовой части.

* Временное положение о порядке взаимодействия федеральных органов исполнительной власти при аварийных выбросах и сбросах загрязняющих веществ и экстремально высоком загрязнении окружающей природной среды. М., 1995, Зарегистрировано Министерством юстиции РФ 11 сентября 1995 г. № 946.

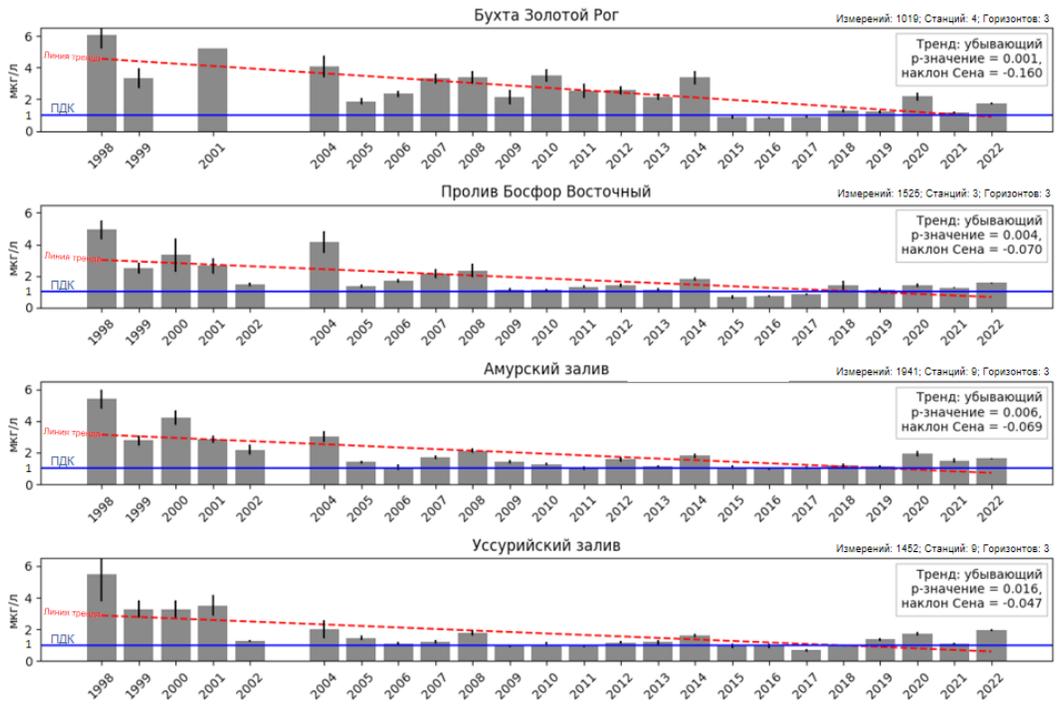


Рис. 2. Долговременные изменения средних концентраций фенолов (мкг/л) в толще воды исследуемых акваторий в 1998–2022 гг.: *пунктир* — линия тренда, *сплошная линия* — ПДК (1 мкг/л*); *планки погрешности* — стандартная ошибка. Количество измерений на каждом горизонте указано в табл. 1

Fig. 2. Long-term changes of average annual concentration of phenols in water column (ppb), by areas. Linear trends for 1998–2022 (*dotted line*), maximum allowable concentration (1.0 ppb, *solid line*), and standard errors for each year (*whiskers*) are shown. See the number of measurements in Table 1

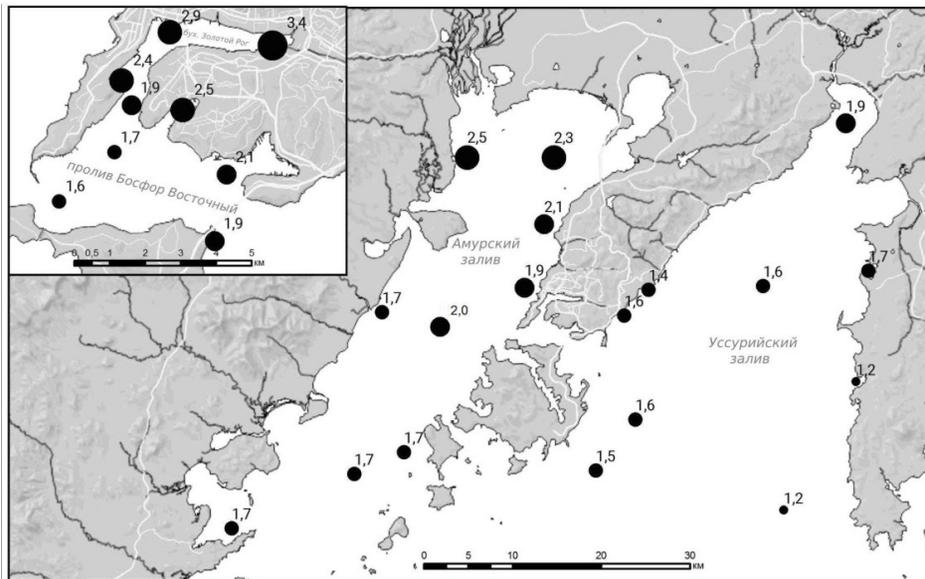


Рис. 3. Распределение среднееголетнего содержания фенолов (мкг/л) в водной толще в 1998–2022 гг.

Fig. 3. Total phenol content in water column averaged for 1998–2022, ppb

* Перечень... (1999).

Таблица 2

Некоторые статистические характеристики концентраций фенолов в толще воды исследованных акваторий в 2022 г., мкг/л

Table 2

Some statistical characteristics of phenols concentration in water in 2022, by areas, ppb

Горизонт	<i>M</i>	\pm SE	<i>Min</i>	<i>Max</i>
Бухта Золотой Рог (n = 30)				
Поверхность	1,8	0,1	1,4	2,0
10 м	1,7	0,1	1,5	1,8
Придонный слой	1,8	0,1	1,4	2,0
Вся толща воды	1,8	0,0	1,4	2,0
Прол. Босфор Восточный (n = 42)				
Поверхность	1,6	0,0	1,4	1,9
10 м	1,6	0,1	1,4	2,0
Придонный слой	1,7	0,0	1,4	2,0
Вся толща воды	1,6	0,0	1,4	2,0
Амурский залив (n = 48)				
Поверхность	1,6	0,1	1,2	1,9
10 м	1,6	0,0	1,3	1,8
Придонный слой	1,7	0,0	1,2	1,8
Вся толща воды	1,6	0,0	1,2	1,9
Уссурийский залив (n = 72)				
Поверхность	2,0	0,0	1,6	2,6
10 м	2,0	0,0	1,7	2,1
Придонный слой	2,0	0,0	1,6	2,3
Вся толща воды	2,0	0,0	1,6	2,6

раженный пик — в 2008 г. на акватории Амурского залива (21,5 мкг/г), а в Уссурийском заливе максимум (12,7 мкг/г) пришелся на 2006 г. (рис. 5).

Таблица 3

Некоторые статистические характеристики содержания фенолов в донных отложениях исследованных акваторий в 1998–2022 гг., мкг/г

Table 3

Some statistical characteristics of phenols concentration in bottom sediments in 1998–2022, by areas, ppm

Акватория	<i>n</i>	<i>M</i>	\pm SE	<i>Min</i>	<i>Max</i>
Бухта Золотой Рог	159	6,0	0,3	0,1	25,8
Прол. Босфор Восточный	209	4,3	0,2	0,6	16,1
Амурский залив	373	3,5	0,1	0,0	21,5
Уссурийский залив	367	2,4	0,1	0,0	12,7

В пространственном распределении среднесезонных концентраций фенолов в донных отложениях отмечаются несколько областей повышенных значений. Так, в Амурском заливе эти области локализованы в восточной части, в приустьевом участке, в центральной части и в зал. Славянском (рис. 6).

Чаще всего область максимальных концентраций фенолов располагалась в приустьевой области р. Раздольной (ст. А12 и А11). В 11 случаях наблюдались самые высокие и близкие к ним значения содержания фенолов. При этом максимальные концентрации изменялись от 2,8 до 21,5 мкг/г, а большинство значений превышало 5,0 мкг/г.

В восточной части залива (ст. А16, А24) наивысшие концентрации фенолов и близкие к ним наблюдали в 12 случаях. На этом участке самые высокие значения варьировали от 1,5 до 12,2 мкг/г, в пяти случаях превышая 5,0 мкг/г.

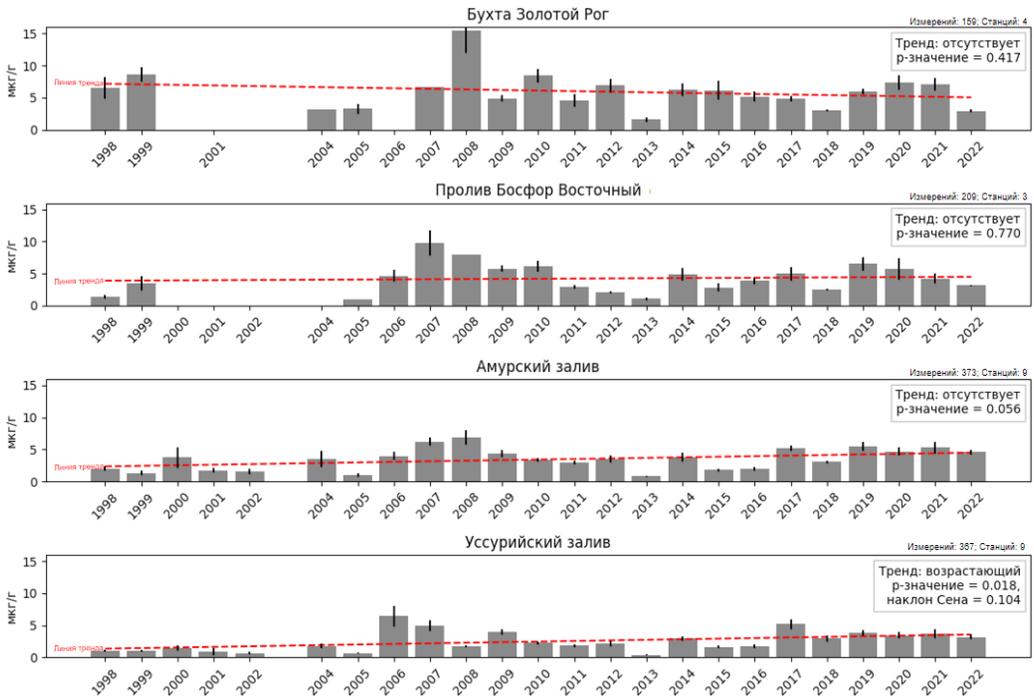


Рис. 5. Долговременные изменения среднегодовых концентраций фенолов (мкг/г) в донных отложениях в 1998–2022 гг.: пунктир — линия тренда; планки погрешности — стандартная ошибка

Fig. 5. Long-term changes of average annual concentration of phenols in bottom sediments (ppm), by areas. Linear trends for 1998–2022 (dotted line) and standard errors for each year (whiskers) are shown

В акватории бухты Золотой Рог область высоких среднесуточных значений расположена в кутовой части (рис. 6). Именно здесь наиболее часто фиксировали пики содержания фенолов, а их максимальные концентрации превышали 10,0 мкг/г.

В Уссурийском заливе участки с повышенным содержанием фенолов расположены в центральной части на ст. U106 (3,2 мкг/г) и в приустьевом участке (2,7 мкг/г). Пики значений чаще всего отмечали в приустьевой части в зоне рек Артемовка и Шкотовка (ст. U104). Так, в 1998–2022 гг. на этой станции было зафиксировано пять максимальных случаев и три близких к максимальным значениям. Диапазон изменений составлял 1,0 мкг/г (апрель 2013 г.) — 10,1 мкг/г (август 2021 г.).

Четыре случая максимальных концентраций и три близких к ним фиксировали на ст. U106 (1,8–12,7 мкг/г). Три пика отмечено на ст. U100 (1,8–6,6 мкг/г) в районе бухты Тихой.

Отдельно рассмотрим содержание фенолов в 2022 г. (табл. 4). В этот период наиболее загрязненными фенолами были осадки Амурского залива, наименее — Уссурийского залива и бухты Золотой Рог.

В 2022 г. наиболее высокие среднегодовые концентрации фенолов в осадках (рис. 7) отмечены в восточной и южной частях Амурского залива (ст. A24, A16, A37 и A39). Самое высокое среднее значение зарегистрировано на ст. A24 — 6,9 мкг/г, тогда как максимальная концентрация на этой станции составила 7,2 мкг/г в апреле.

Близкая величина среднегодового содержания (5,4 мкг/г) отмечена на выходе из Амурского залива (ст. A37), при этом максимум (7,4 мкг/г) здесь также был в апреле. В зал. Славянском (ст. A39) среднегодовое содержание фенолов составляло 5,1 мкг/г (рис. 7). В восточной части Амурского залива (ст. A16) величины среднего и максимального содержания — соответственно 4,8 и 5,3 мкг/г.

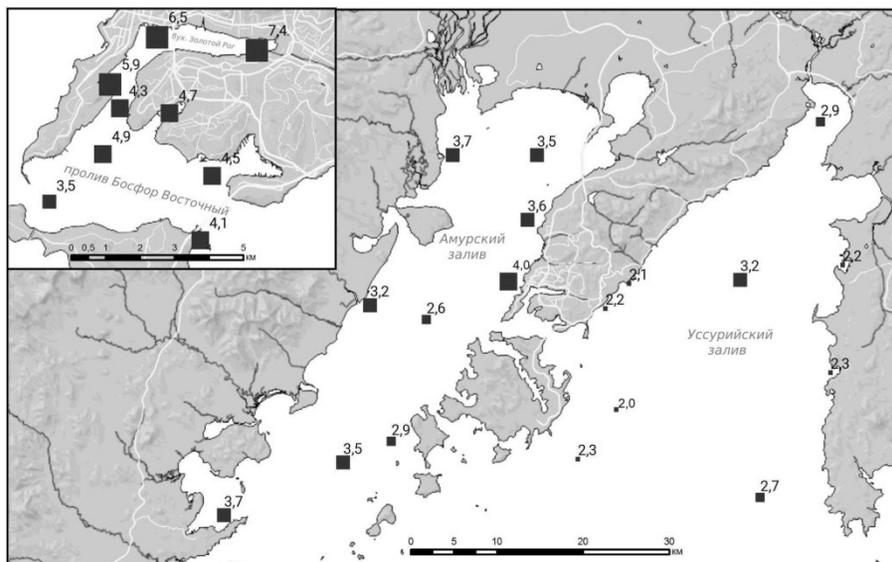


Рис. 6. Распределение среднемноголетнего содержания фенолов (мкг/г) в донных отложениях в 1998–2022 гг.

Fig. 6. Total phenol content in bottom sediments averaged for 1998–2022, ppm

Таблица 4

Некоторые статистические характеристики концентраций фенолов в донных отложениях исследуемых акваторий в 2022 г., мкг/г

Table 4

Some statistical characteristics of phenols concentration in bottom sediments in 2022, by areas, ppm

Акватория	<i>n</i>	<i>M</i>	\pm SE	<i>Min</i>	<i>Max</i>
Бухта Золотой Рог	8	2,9	0,2	1,6	3,5
Прол. Босфор Восточный	6	3,1	0,1	2,7	3,6
Амурский залив	18	4,6	0,3	2,6	7,4
Уссурийский залив	18	2,9	0,3	1,1	6,1

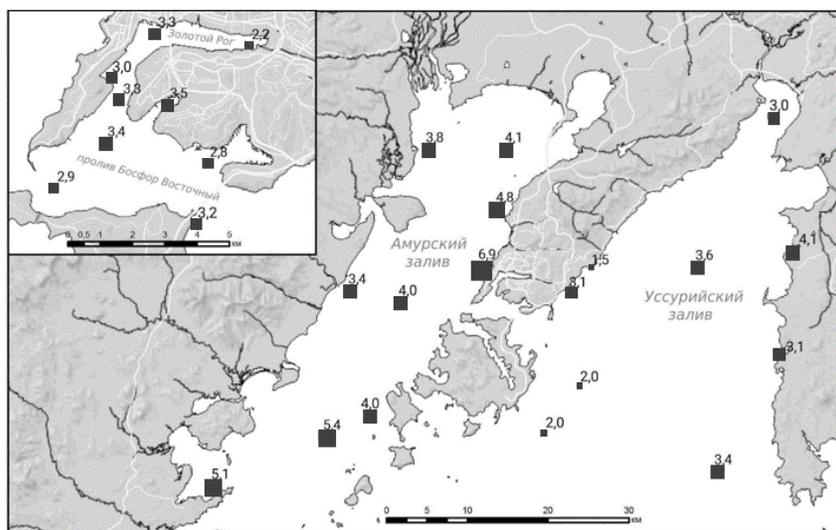


Рис. 7. Распределение среднего содержания фенолов (мкг/г) в донных отложениях исследуемых акваторий в 2022 г.

Fig. 7. Total phenol content in bottom sediments averaged for 2022, ppm

Рассмотрим возможные источники поступления фенолов в морскую среду отдельных акваторий. В Амурском заливе, как отмечали выше (см. рис. 3, 6, 7), области повышенных концентраций фенолов в воде и донных осадках обнаружены в восточной, южной частях, а также в приустьевом участке р. Раздольной.

Станции А16 и А24, расположенные в восточной части залива (см. рис. 1), находятся в районах сброса бытовых сточных вод г. Владивостока. Особого внимания заслуживают предприятия, находящиеся в бассейне р. Первая Речка по ул. Снеговой, — Дальхимпром, завод ЖБИ, предприятия стройиндустрии, авторемонтные мастерские и стоянки, небольшие заводы, железнодорожное депо, склады. Одним из крупных возможных источников поступления фенолов являются Владивостокская нефтебаза, а также бытовые стоки в районе Моргородка и Второй Речки. Кроме того, вдоль восточного берега залива расположены зоны отдыха, гостиничные комплексы, городские пляжи и многочисленные пункты общественного питания (Спортивная Гавань), вносящие свой вклад в загрязнение вод залива.

Важнейшим источником поступления фенолов является сток р. Раздольной. Установлено, что годовые потоки биогенных элементов и растворенного органического вещества, поставляемых р. Раздольной, составляют примерно 2/3 от общего потока в залив [Михайлик, 2023]. Со стоком этой реки в Амурский залив поступает терригенный материал и ядохимикаты, содержащиеся в почвах сельскохозяйственных угодий, животноводческих ферм, садоводческих товариществ. Поскольку продуктами распада многих пестицидов и органического вещества являются многочисленные фенольные соединения, можно предположить, что р. Раздольная является одним из основных поставщиков фенольных соединений в Амурский залив.

Накопление фенольных соединений в донных отложениях в северной части Амурского залива может быть результатом трансформации органического вещества осевшего фитопланктона. Об этом свидетельствует сильная коррелированность концентраций органического углерода и фенолов, наиболее заметная в начале июня после весеннего пика фитопланктона. Однако это утверждение нуждается в проверке после определения компонентного состава фенолов [Мощенко и др., 2020].

На выходе из Амурского залива периодически отмечаются участки дна с высокими значениями содержания фенолов (ст. А37). Станция ГСН А37, когда-то выбранная в качестве фоновой для Амурского залива, расположена в районе впадины (глубины более 38 м), где донные отложения представлены песчанистыми илами. Как известно, такие депрессии в рельефе дна являются седиментационными ловушками, где происходит накопление как органической взвеси, так и загрязняющих веществ [Тищенко и др., 2021]. Кроме того, во время рейдовых стоянок на судах осуществляется мелкий ремонт, связанный с очисткой корпуса и палубы от старого покрытия и нанесением грунтовки и свежей краски, в состав которых входят многочисленные соединения на основе фенолов [Андреев, 2014; Каргамышева, Иванченко, 2018].

Еще один участок с высокими концентрациями фенолов расположен на акватории зал. Славянского (ст. А39), который может испытывать влияние расположенного здесь судоремонтного завода.

В Уссурийском заливе в пространственном распределении фенолов отмечены участки с самыми высокими значениями — в приустьевом участке рек Артемовка и Шкотовка, вблизи пос. Большой Камень, где базируется ССК «Звезда», а также участок в центре залива на ст. 106 (район впадины, глубина — 35 м) и в бухте Тихой (см. рис. 3, 7). Стоки рек Артемовка и Шкотовка, а также ССК «Звезда» могут быть источниками фенольного загрязнения Уссурийского залива. Менее значимыми являются сточные воды бухты Тихой и эксплуатация морских судов, загрязняющих центральную часть залива.

Наиболее сильно антропогенное воздействие проявляется в бухте Золотой Рог и в прол. Босфор Восточный. Нагрузка на эти акватории обусловлена огромным количеством источников поступления загрязняющих веществ. Здесь расположены судостро-

ительные и судоремонтные предприятия, стоянки судов торгового, рыболовного и военно-морского флота, морские вокзалы и грузовые терминалы. Ливневой сток приносит в акваторию чрезвычайно загрязненные воды с автомобильных и железнодорожных путей, охватывающих бухту, а основной вклад в загрязнение вносит р. Объяснения, являющаяся приемником сточных вод ТЭЦ-2 и предприятия «Приморский водоканал»*.

Заключение

Анализ многолетних данных содержания фенолов в морской среде зал. Петра Великого свидетельствует, что в водах и донных отложениях регулярно наблюдается значительное превышение как ПДК, так и концентраций, характерных для донных отложений акваторий, не затронутых антропогенной деятельностью. Согласно имеющимся данным, содержание фенолов в незагрязненных водах не превышает 0,3 мкг/л [Долматова и др., 2004; Андреев, 2014; Груздев, 2016], при этом фоновая концентрация может составлять < 2,0 мкг/л**.

Зал. Петра Великого подвергается интенсивному загрязнению уже много десятилетий, и фоновые концентрации фенолов в донных отложениях неизвестны. Поэтому для оценки загрязненности грунтов залива мы использовали данные, полученные на акваториях дальневосточных и арктических морей России [Лишавская и др., 2005].

Таким образом, на основе проведенного анализа многолетних данных о содержании фенолов в водах и донных отложениях зал. Петра Великого сделаны следующие выводы.

В исследованных акваториях зал. Петра Великого в 1998–2022 гг. наиболее загрязненными фенолами были воды и донные отложения бухты Золотой Рог. Максимальные концентрации фенолов в толще воды здесь составляли до 28 ПДК и превышали фон (2,0 мкг/л) более чем в 10 раз. Среднемноголетние концентрации фенолов в грунтах данной акватории превышают фоновые значения (0,40 мкг/г) более чем в 15 раз. Наименее загрязненными акваториями зал. Петра Великого могут считаться воды Уссурийского залива (до 17 ПДК), превышение фона — в несколько раз. Среднемноголетнее содержание фенолов в осадках здесь превышает фон в шесть раз.

Пространственное распределение среднемноголетних концентраций фенолов в воде и осадках показывает, что их наибольшие значения наблюдаются в прибрежных станциях и областях, локализованных в районах интенсивной хозяйственной деятельности. Таким образом, поступление фенолов в морскую среду зал. Петра Великого, по-видимому, обусловлено исключительно антропогенными процессами.

Основными источниками фенольного загрязнения, вероятно, являются стоки рек — Раздольной в Амурском заливе, Шкотовка и Артемовка в Уссурийском заливе и Объяснения в бухте Золотой Рог. Именно в приустьевых участках этих акваторий чаще всего в период 1998–2022 гг. наблюдались пики концентраций фенолов в воде и осадках.

Одними из существенных источников загрязнения могут быть городские сточные воды, сбрасываемые в восточной части Амурского залива, судостроительные и судоремонтные заводы в зал. Славянском, в бухтах Большой Камень и Золотой Рог, а также эксплуатация морских судов.

В период 1998–2022 гг. отмечен убывающий тренд среднегодового содержания фенолов в водной толще всех исследованных акваторий. При этом тренд среднегодовых концентраций фенолов в донных отложениях отсутствует, за исключением Уссурийского залива, где наблюдался рост среднегодовых концентраций фенолов.

Полученные результаты свидетельствуют о сложной динамике загрязнения фенолами акваторий зал. Петра Великого. Несмотря на общую тенденцию к снижению, содержание фенолов в ряде районов все еще превышает предельно допустимые концентрации.

* Ежегодник... (2022).

** Environment Canada... (1998).

Концентрации фенолов в водной среде подвержены постоянным изменениям под воздействием разнообразных физико-химических и биологических факторов. Это свидетельствует об исключительной сложности всего комплекса взаимосвязей между условиями среды, химико-биологическими процессами и динамикой содержания фенольных соединений в морской экосистеме.

Данная многофакторность значительно усложняет выявление закономерностей пространственно-временного распределения фенолов в акватории залива. Кроме того, существенную трудность представляет разграничение степени влияния различных источников фенольного загрязнения. Это связано как с их многочисленностью, так и с отсутствием достоверных сведений об объемах сбросов.

Проблема загрязнения фенолами зал. Петра Великого требует дальнейшего комплексного изучения с применением современных методов исследования и моделирования для более глубокого понимания процессов, происходящих в морской среде и разработки эффективных мер по снижению антропогенной нагрузки на данную акваторию.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Автор выражает искреннюю благодарность канд. биол. наук, ведущему научному сотруднику ДВНИГМИ Т.А. Белан за существенную помощь, оказанную при написании статьи, и ценные рекомендации по ее улучшению. Отдельная благодарность начальнику регионального центра океанографических данных ДВНИГМИ А.А. Круц за предоставленные данные и пояснение их ключевых аспектов.

The author expresses his sincere gratitude to T.A. Belan for valuable recommendations and substantial assistance in the article writing and special thanks to A.A. Krutz for the data providing with key aspects explanation.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.
This study did not receive any special funding.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены.

Автор заявляет, что у него нет конфликта интересов.

All applicable international, national and/or institutional principles for the care and use of animals have been observed.

The author states that he has no conflict of interest.

Список литературы

Аминина Н.М., Вишневская Т.И., Караулова Е.П. и др. Перспективы использования промысловых и потенциально промысловых бурых водорослей дальневосточных морей в качестве источника полифенолов // Биол. моря. — 2020. — Т. 46, № 1. — С. 37–44. DOI: 10.31857/S0134347520010027.

Аминина Н.М., Остапенко В.М., Караулова Е.П. Характеристика антиоксидантной активности отдельных фракций полифенолов морской травы рода *Zostera* // Изв. ТИНРО. — 2021. — Т. 201, вып. 2. — Р. 505–515. DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-505-515.

Андреев Ю.А. Идентификация и определение полихлорфенолов в воде газохроматографическим методом : дис. ... канд. хим. наук. — Ростов н/Д, 2014. — 175 с.

Ахметченко З.А., Муфазалова Н.А., Муфазалова Л.Ф. Биологические эффекты хлорфеноксигербицидов // Фундам. исслед. — 2014. — № 7-4. — С. 817–824.

Батоев В.Б., Нимацыренова Г.Г., Дабаляева Г.С., Палицына С.С. Оценка загрязненности хлорированными фенолами бассейна реки Селенги // Химия в интересах устойчивого развития. — 2005. — Т. 13, вып. 1. — С. 31–35.

Груздев И.В. Многофункциональная дериватизация для газохроматографического определения следов замещенных фенолов и анилинов в водных средах : дис. ... д-ра хим. наук. — Сыктывкар, 2016. — 456 с.

Долматова Л.А., Егорова Л.С., Михайленко М.А. Летучие фенолы в объектах экосистемы р. Барнаулки // Изв. АлтГУ. — 2004. — № 3 (33). — С. 10–14.

Илларионова Е.А., Сыроватский И.П., Митина А.Э. Химико-токсикологический анализ пестицидов : учеб. пособие. — Иркутск : ИГМУ, 2022. — 51 с.

Каргамышева Е.С., Иванченко Д.С. Основные источники загрязнения окружающей среды в судостроительной промышленности // Молодой ученый. — 2018. — № 25(211). — С. 18–20.

Кислицина М.Н. Влияние экзогенных фенольных соединений на структурно-функциональные характеристики высших водных растений : дис. ... канд. биол. наук. — Екатеринбург, 2017. — 168 с.

Лишавская Т.С., Мощенко А.В., Чернова А.С. Некоторые органические поллютанты в донных отложениях прибрежных акваторий острова Сахалин // Изв. ТИНРО. — 2005. — Т. 142. — С. 296–309.

Михайлик Т.А. Гидрохимия реки Раздольной и ее влияние на экологическое состояние Амурского залива : автореф. дис. ... канд. хим. наук. — Владивосток : ДВФУ, 2023. — 26 с.

Мощенко А.В., Белан Т.А., Лишавская Т.С. и др. Многолетняя динамика концентраций приоритетных поллютантов и общего уровня химического загрязнения прибрежных акваторий Владивостока (залив Петра Великого Японского моря) // Изв. ТИНРО. — 2020. — Т. 200, вып. 2. — С. 377–400. DOI: 10.26428/1606-9919-2020-200-377-400.

Недоросткова И.Г. Фенолы в водах залива Петра Великого и их биологическое действие : дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток : ДВГУ, 2001. — 125 с.

Некрасова Л.П., Мальшева А.Г., Абрамов Е.Г. Трансформация фенола и двухатомных фенолов в поверхностной воде под действием природных физико-химических факторов // Гигиена и санитария. — 2019. — № 98(11). — С. 1206–1211. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-11-1206-1211.

Нерсесов Б.А., Римский-Корсаков Н.А. Результаты экологических исследований российских арктических морей // Российская Арктика. — 2021. — № 13. — С. 14–25. DOI: 10.24412/2658-4255-2021-2-14-25.

Овечкин Ф.Ю., Овечкина Е.С. Природа фенольного загрязнения реки Вах // 2-я Международная научно-практическая конференция «Актуальные вопросы науки и практики XXI в.». — Нижневартовск, 2016. — С. 77–85. DOI: 10.5281/zenodo.292969.

Огородникова А.А. Эколого-экономическая оценка воздействия береговых источников загрязнения на природную среду и биоресурсы залива Петра Великого : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2001. — 193 с.

Патин С.А. Экологические проблемы освоения нефтегазовых ресурсов морского шельфа : моногр. — М. : ВНИРО, 1997. — 349 с.

Сибгатуллин Р.С., Равилов Р.Х., Садыков Н.И. Ветеринарная санитария : учеб. пособие. — Казань : Казан. гос. акад. ветеринар. мед. им. Н.Э. Баумана, 2007. — 148 с.

Сиротский С.Е., Климин М.А. Источники поступления фенольных соединений в природные воды на примере бассейна реки Амур // Вопр. рыб-ва. — 2009. — Т. 10, № 3(39). — С. 598–617.

Соловьёва Т.В., Пенкин А.А. Технология древесноволокнистых плит, технология древесностружечных плит, технология композиционных материалов и пластиков : лабораторный практикум. — Минск : БГТУ, 2009. — 142 с.

Тищенко П.П., Звалинский В.И., Михайлик Т.А., Тищенко П.Я. Гипоксия залива Петра Великого // Изв. ТИНРО. — 2021. — Т. 201, вып. 3. — С. 600–639. DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-600-639.

Тютюнник В.В., Резниченко О.П., Каурова З.Г. Исследования концентраций фенола в воде прибрежной части Невской губы // Междунар. вестн. ветеринарии. — 2018. — № 2. — С. 87–90.

Федоров Л.А., Яблоков А.В. Пестициды — токсический удар по биосфере и человеку : моногр. — М. : Наука, 1999. — 462 с.

Хмелевская М.С., Ахрамович Т.И., Игнатовец О.С. и др. Естественные пути деградации пестицидов на основе 2,4-дихлорфеноксиуксусных кислот // Тр. БГТУ. — 2016. — № 4(186). — С. 175–181.

Энгст Р., Махольц Р.М., Куява М. Метаболизм линдана в организме микробов, теплокровных животных и человека // Гигиена и санитария. — 1978. — № 10. — С. 64–65.

Янин Е.П. Органические вещества техногенного происхождения в водах городских рек // Экологическая экспертиза. — 2004. — № 4. — С. 42–67.

Li H., Meng F., Leng Yu., Li A. Emergency response to ecological protection in maritime phenol spills: Emergency monitor, ecological risk assessment, and reduction // *Mar. Pollut. Bull.* — 2024. — Vol. 200. 116073. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2024.116073.

Tkalin A.V., Belan T.A., Shapovalov E.N. The state of the marine environment near Vladivostok, Russia // *Mar. Pollut. Bull.* — 1993. — Vol. 26, № 8. — P. 418–422.

Zhang X., Wiegel J. Sequential anaerobic degradation of 2,4-dichlorophenol in freshwater sediments // *Appl. Environ. Microbiol.* — 1990. — Vol. 56. — P. 1119–1127. DOI: 10.1128/aem.56.4.1119-1127.1990.

Zhou M., Zhang J., Sun C. Occurrence, Ecological and Human Health Risks, and Seasonal Variations of Phenolic Compounds in Surface Water and Sediment of a Potential Polluted River Basin in China // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* — 2017. — Vol. 14. 1140. DOI: 10.3390/ijerph14101140.

References

Aminina, N.M., Vishnevskaya, T.I., Karaulova, E.P., Epur, N.V., and Yakush, E.V., Prospects for the use of commercial and potentially commercial brown algae of the far eastern seas as a source of polyphenols, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2020, vol. 46, no. 1, pp. 34–41. doi 10.31857/S0134347520010027

Aminina, N.M., Ostapenko, V.M., and Karaulova, E.P., Characteristics of antioxidant activity for certain fractions of polyphenols from seagrass of genus *Zostera*, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2021, vol. 201, no. 2, pp. 505–515. doi 10.26428/1606-9919-2021-201-505-515

Andreev, Yu.A., Identification and determination of polychlorophenols in water by gas chromatographic method, *Cand. Sci. (Chem.) Dissertation*, Rostov-on-Don, 2014.

Akhmetchenko, Z.A., Mufazalova, N.A., and Mufazalova, L.F., Biological effects of chlorophenoxyherbicides, *Fundam. issled.*, 2014, no. 7–4, pp. 817–824.

Batoev, V.B., Nimatsyrenova, G.G., Dabalaeva, G.S., and Palitsyna, S.S., Assessment of pollution by chlorinated phenols in the Selenga River basin, *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya*, 2005, vol. 13, no. 1, pp. 31–35.

Gruzdev, I.V., Multifunctional derivatization for gas chromatographic determination of traces of substituted phenols and anilines in aqueous media, *Doctoral (Chem.) Dissertation*, Syktyvkar, 2016.

Dolmatova, L.A., Egorova, L.S., and Mikhaylenko, M.A., Volatile phenols in the objects of Barnaulka River ecosystem, *Izvestiya Altaysk. Gos. Univ.*, 2004, no. 3 (33), pp. 10–14.

Illarionova, E.A., Syrovatsky, I.P., and Mitina, A.E., *Khimiko-toksikologicheskiy analiz pestitsidov* (Chemical and toxicological analysis of pesticides), Irkutsk: Irkutsk Gos. Med. Univ., 2022.

Kartamyshva, E.S. and Ivanchenko, D.S., The main sources of environmental pollution in the shipbuilding industry, *Molodoy uchenyy*, 2018, no. 25 (211), pp. 18–20.

Kislitsina, M.N., Influence of exogenous phenolic compounds on the structural and functional characteristics of higher aquatic plants, *Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Ekaterinburg, 2017.

Lishavskaya, T.S., Moshchenko, A.V., and Chernova, A.S., Interrelation of some organic contaminants and bottom sediment properties at the north-east shelf and inshore waters of Sakhalin Island, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2005, vol. 142, pp. 296–309.

Mikhailik, T.A., Hydrochemistry of the Razdolnaya River and its influence on the ecological state of the Amur Bay, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Chem.) Dissertation*, Vladivostok: Far Eastern Federal University, 2023.

Moshchenko, A.V., Belan, T.A., Lishavskaya, T.S., Sevastianov, A.V., and Borisov, B.M., Longterm dynamics of prior pollutants concentration and total level of chemical contamination in the coastal areas at Vladivostok (Peter the Great Bay, Japan Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2020, vol. 200, no. 2, pp. 377–400. doi 10.26428/1606-9919-2020-200-377-400

Nedorostkova, I.G., Phenols in the waters of Peter the Great Bay and their biological action, *Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Vladivostok: Dal'nevost. Gos. Univ., 2001.

Nekrasova, L.P., Malysheva, A.G., and Abramov, E.G., Transformation of phenol and diatomic phenols in surface water under the impact of natural physical and chemical factors, *Gig. Sanit.*, 2019, vol. 98, no. 11, pp. 1206–1211. doi 10.18821/0016-9900-2019-98-11-1206-1211

Nersesov, B.A. and Rimsky-Korsakov, N.A., Results of ecological studies of the Russian Arctic seas, *Rossiyskaya Arktika*, 2021, no. 13, pp. 14–25. doi 10.24412/2658-4255-2021-2-14-25

Ovechkin, F. and Ovechkina, E., Nature of phenolic pollution of the Vakh River, in *Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference "Actual problems of science and practice of the XXI century"*, Nizhnevartovsk, 2016, pp. 77–85. doi 10.5281/zenodo.292969

Ogorodnikova, A.A., *Ekologo-ekonomicheskaya otsenka vozdeystviya beregovykh istochnikov zagryazneniya na prirodnyuyu sredyu i bioresursy zaliva Petra Velikogo* (Ecological and Economic Assessment of the Impact of Coastal Pollution Sources on the Natural Environment and Bioresources of Peter the Great Bay), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2001.

Patin, S.A., *Ekologicheskie problemy osvoeniya neftegazovykh resursov morskogo shel'fa* (Ecological Problems of Oil and Gas Resources Development of the Marine Shelf), Moscow: VNIRO, 1997.

Sibgatullin, R.S., Ravilov, R.Kh., and Sadykov, N.I., *Veterinarnaya sanitariya* (Veterinary sanitation), Kazan: Kazan. gos. akad. veterinarn. med. im. N.E. Bauman, 2007.

Sirotsky, S.E. and Klimin, M.A., Sources of the entering of phenol connections into the natural waters based on the example of Amur River basin, *Vopr. Rybolov.*, 2009, vol. 10, no. 3(39), pp. 598–617.

Solovieva, T.V. and Penkin, A.A., *Tekhnologiya drevesnovoloknistykh plit, tekhnologiya drevesnostruzhechnykh plit, tekhnologiya kompozitsionnykh materialov i plastikov* (Technology of wood-fiber boards, technology of wood-chip boards, technology of composite materials and plastics), Minsk: Beloruss. Gos. Technol. Univ., 2009.

Tishchenko, P.P., Zvalinsky, V.I., Mikhaylik, T.A., and Tishchenko, P.Ya., Hypoxia in Peter the Great Bay, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2021, vol. 201, no. 3, pp. 600–639. doi 10.26428/1606-9919-2021-201-600-639

Tyutyunnik, V.V., Reznichenko, O.P., and Kaurova, Z.G., Research of quality of water in a coastal part of the Neva Bay, *Mezhdunar. vestn. Veterinariii*, 2018, no. 2, pp. 87–90.

Fedorov, L.A. and Yablokov, A.V., *Pestitsidy — toksicheskiy udar po biosfere i cheloveku* (Pesticides — a toxic blow to the biosphere and man), Moscow: Nauka, 1999.

Khmelevskaya, M.S., Akhramovich, T.I., Ignatovets, O.S., Leontyev, V.N., and Feskova, E.V., Natural pathways of degradation of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid-based pesticides, *Trudy Belorusskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2016, no. 4(186), pp. 175–181.

Engst, R., Makholz, R.M., and Kujawa, M., Metabolism of lindane in the body of microbes, warm-blooded animals and humans, *Gig. Sanit.*, 1978, no. 10, pp. 64–65.

Yanin, E.P., Organic substances of technogenic origin in the waters of urban rivers, *Ekologicheskaya ekspertiza*, 2004, no. 4, pp. 42–67.

Li, H., Meng, F., Leng, Yu., and Li, A., Emergency response to ecological protection in maritime phenol spills: Emergency monitor, ecological risk assessment, and reduction, *Mar. Pollut. Bull.*, 2024, vol. 200, 116073. doi 10.1016/j.marpolbul.2024.116073

Tkalin, A.V., Belan, T.A., and Shapovalov, E.N., The state of the marine environment near Vladivostok, Russia, *Mar. Pollut. Bull.*, 1993, vol. 26, no. 8, pp. 418–422.

Zhang, X. and Wiegel, J., Sequential anaerobic degradation of 2,4-dichlorophenol in freshwater sediments, *Appl. Environ. Microbiol.*, 1990, vol. 56, pp. 1119–1127. doi 10.1128/aem.56.4.1119-1127.1990

Zhou, M., Zhang, J., and Sun, C., Occurrence, Ecological and Human Health Risks, and Seasonal Variations of Phenolic Compounds in Surface Water and Sediment of a Potential Polluted River Basin in China, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2017, vol. 14, 1140. doi 10.3390/ijerph14101140

Vremennoye polozheniye o poryadke vzaimodeystviya federal'nykh organov ispolnitel'noy vlasti pri avariynnykh vybrosakh i sbrosakh zagryaznyayushchikh veshchestv i ekstremal'no vysokom zagryaznenii okruzhayushchey prirodnoy sredy (Temporary Regulations on the Procedure for Interaction between Federal Executive Authorities in Cases of Emergency Emissions and Discharges of Pollutants and Extremely High Pollution of the Environment), Moscow, 1995, Registered by the Ministry of Justice of the Russian Federation on September 11, 1995, no. 946.

Yezhegodnik kachestva morskikh vod po gidrokhimicheskim pokazatelyam (Yaponskoye more) za 2021 god (Yearbook of marine water quality by hydrochemical indicators (Sea of Japan) for 2021), Vladivostok: PUGMS, 2022.

PND F 14.1.2:4.182-02. Kolichestvennyy khimicheskyy analiz vod. Metodika izmereniy massovoy kontsentratsii fenolov (obshchikh i letuchikh) v probakh prirodnykh, pit'yevykh i stochnykh vod fluorimetricheskim metodom na analizatore zhidkosti «Flyuorat-02» (PND F 14.1.2:4.182-02. Quantitative chemical analysis of water. Methodology for measuring the mass concentration of phenols (total and volatile) in samples of natural, drinking and waste water using the fluorimetric method on the Fluorat-02 liquid analyzer).

Metodika izmereniy spektrofotometricheskim metodom. Massovaya dolya fenolov v probakh pochv i donnykh otlozheniy presnykh i morskikh vodnykh ob'yektov s 4-aminoantipirinom (Methodology of measurements by spectrophotometric method. Mass fraction of phenols in soil and bottom sediment samples of fresh and marine water bodies with 4-aminoantipyrine), Rostov-on-Don, 2020.

Metodicheskiye ukazaniya po opredeleniyu trikhlormetafosa-3 i yego metabolitov v biologicheskom materiale metodom gazozhidkostnoy khromatografii, № 2647–82 (Guidelines for the determination of trichlorometaphos-3 and its metabolites in biological material by gas-liquid chromatography, no. 2647–82).

Perechen' rybokhozyaystvennykh normativov: predel'no dopustimyykh kontsentratsiy (PDK) i oriyentirovochno bezopasnykh urovney vozdeystviya (OBUV) vrednykh veshchestv dlya vody vodnykh ob'yektov, imeyushchikh rybokhozyaystvennoye znacheniye (List of fishery standards: maximum permissible concentrations (MPC) and estimated safe impact levels (ESIL) of harmful substances for water bodies of fishery importance), Moscow: VNIRO, 1999.

Environment Canada. Canadian water quality guidelines for phenols. Supporting document, Environment Canada, Environmental Quality Branch, Ottawa, 1998. Unpub. draft doc.

Поступила в редакцию 18.04.2024 г.

После доработки 12.08.2024 г.

Принята к публикации 13.09.2024 г.

The article was submitted 18.04.2024; approved after reviewing 12.08.2024; accepted for publication 13.09.2024

**АКВАКУЛЬТУРА
AQUACULTURE**

Научная статья

УДК 639.3.07:597.552.51**DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-629-647****EDN: LZLXZE****УСЛОВИЯ ВОСПРОИЗВОДСТВА МОЛОДИ ЛОСОСЕВЫХ РЫБ
НА САХАЛИНСКИХ РЫБОВОДНЫХ ЗАВОДАХ: КИСЛОРОДНЫЙ,
ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМЫ И САНИТАРНОЕ СОСТОЯНИЕ
ЗАВОДСКИХ ВОДОИСТОЧНИКОВ****А.В. Полтева, Е.В. Галанина***Сахалинский филиал ВНИРО (СахНИРО),
693023, г. Южно-Сахалинск, ул. Комсомольская, 196

Аннотация. Представлены результаты оценки условий воспроизводства молоди лососевых рыб на семи сахалинских рыболовных заводах: Лесной, Таранайский, Буюкловский, Фирсовка, Лазовой, Люблино, Охотский, — в период с 2016 по 2020 г. В качестве критериев оценки были взяты показатели температуры воды, содержания растворенного кислорода, а также качественно-количественные характеристики санитарно-показательной и условно-патогенной микрофлоры воды, поступающей на лососевые заводы на этапах инкубации икры, выдерживания личинок и подращивания молоди. Данные по заболеваемости и величине отхода рыболовной продукции за период исследований привлечены как косвенные параметры оценки. Установлено, что качество воды на заводах в период исследований по микробиологическим показателям удовлетворяло требованиям, которые предъявляются к рыбохозяйственным водным объектам. Выявленный на разных этапах рыбоводного цикла диапазон данных температуры и растворенного кислорода обеспечивал благоприятные условия воспроизводства, о чем свидетельствовали нормативные показатели отхода и отсутствие заболеваний у объектов разведения. Диапазоны значений температуры и содержания растворенного кислорода на отдельных этапах разведения кеты и горбуши, зафиксированные в период исследований, были шире приводимых в литературе и описанных как оптимальные.

Ключевые слова: температура воды, содержание кислорода, бактериологические показатели, качество воды, условия воспроизводства, лососевые рыболовные заводы, Сахалин

Для цитирования: Полтева А.В., Галанина Е.В. Условия воспроизводства молоди лососевых рыб на сахалинских рыболовных заводах: кислородный, температурный режимы и санитарное состояние заводских водоисточников // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 3. — С. 629–647. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-629-647. EDN: LZLXZE.

* Полтева Александра Владимировна, кандидат биологических наук, заведующая лабораторией, poltevaav@sakhniro.vniro.ru, ORCID 0000-0003-3114-8326; Галанина Елена Владимировна, главный специалист, galaninaev@sakhniro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-9745-2227.

© Полтева А.В., Галанина Е.В., 2024

Conditions for reproduction of juvenile salmon fish in Sakhalin fish hatcheries: oxygen, temperature regimes and sanitary state of factory water sources

Alexandra V. Polteva*, Elena V. Galanina**

*, ** Sakhalin branch of VNIRO (SakhNIRO),

196, Komsomolskaya Str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693023, Russia

* Ph.D., head of laboratory, poltevaav@sakhniro.vniro.ru, ORCID 0000-0003-3114-8326

** chief specialist, galaninaev@sakhniro.vniro.ru, ORCID 0000-0002-9745-2227

Abstract. Conditions of salmon reproduction in 2016–2020 are considered for seven Sakhalin fish hatcheries: Lesnoy, Taranaysky, Buyuklovsky, Firsovka, Lazovoy, Lublino, Okhotsky, with evaluation of water temperature, dissolved oxygen content, and qualitative and quantitative parameters of sanitary-indicative and conditionally pathogenic microflora in the water entered the hatcheries at the stages of eggs and larvae incubation and rearing of juveniles. Indirect indicators as morbidity and mortality of fish were used for the conditions assessment, as well. At all examined hatcheries, the water met requirements for water bodies suitable for fisheries by microbiological indicators. The water temperature and dissolved oxygen content provided rather favorable conditions for the salmon reproduction at all stages of the breeding cycle that was proven by normative values of fish mortality and absence of diseases. However, ranges of temperature and oxygen content at certain stages of chum and pink salmon breeding were wider than the optimal ones described in technological documents and scientific literature.

Keywords: water temperature, dissolved oxygen content, bacteriological parameter, water quality, artificial reproduction, salmon hatchery, Sakhalin

For citation: Polteva A.V., Galanina E.V. Conditions for reproduction of juvenile salmon fish in Sakhalin fish hatcheries: oxygen, temperature conditions and sanitary state of factory water sources, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 3, pp. 629–647. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-629-647. EDN: LZLXZE.

Введение

Содержание кислорода и температура — важнейшие абиотические факторы водной среды, от которых зависит рост и развитие икры, личинок и молоди в процессе воспроизводства лососей на заводах [Ефанов, Бойко, 2014; Тарасюк, Тарасюк, 2015]. Отклонение этих показателей от оптимальных значений увеличивает риск повышенного отхода или массовой гибели на любом этапе разведения. Воздействие неблагоприятных условий может приводить к заморным явлениям в результате асфиксии, истощению в результате плохой усвояемости корма на фоне низкой температуры, а также к возникновению различных заболеваний заразной и незаразной этиологии у разводимых лососей [Гаврюсова и др., 2018].

Из незаразных, так называемых функциональных, болезней перепады температуры и пониженное содержание кислорода могут спровоцировать нарушения в развитии оплодотворенной икры и предличинок, которые проявляются позднее у личинок и молоди в виде различных морфологических аномалий [Бойко, 2014]. В качестве аномалий могут наблюдаться уродства головы, нарушения в строении челюстных, жаберных дужек, искривление туловища, хвоста, срастание голов и туловища. Такого рода аномалии снижают жизнеспособность молоди, ее выживаемость после выпуска в естественную среду обитания [Ихтиопатология, 2003].

Резкие колебания температуры и содержания кислорода, продолжительная гипогипертермия в целом ведут к ухудшению физиологического состояния и снижению иммунной защиты организма у разводимых объектов [Хованский, 1992]. Ослабленные личинки и молодь становятся более восприимчивыми к воздействию возбудителей заболеваний, которые, как правило, постоянно присутствуют в воде, поступающей на лососевые фермы из природных источников (рек, ручьев). Спровоцировать инфекционные заболевания у молоди лососевых могут бактерии из pp. *Aeromonas*, *Pseudomonas*, *Flavobacterium* — аборигенные представители планктонной микробиоты водотоков [Вялова, Шкурина, 2005; Устименко, 2006].

Создать благоприятные условия для роста и развития, а затем выпустить жизнестойкую молодь лососей, которая через несколько лет обеспечит хороший возврат, — главная задача, решением которой занимаются ежегодно в каждом лососевом хозяйстве на Сахалине.

В 2016–2020 гг. при проведении ихтиопатологического мониторинга на семи сахалинских рыбоводных заводах были собраны данные по температурному и кислородному режимам и выполнены сезонные бактериологические исследования воды из заводских водоисточников.

Цель нашей работы — на основе анализа полученной информации охарактеризовать условия воспроизводства на сахалинских лососевых заводах при выращивании молоди горбуши, кеты и кижуча.

Материалы и методы

Сбор данных о качестве воды на семи лососевых рыбоводных заводах (ЛРЗ) Сахалина проводили в ходе ихтиопатологического мониторинга с 2016 по 2020 г. На каждом заводе исследования выполняли в течение 1–4 рыбоводных циклов (табл. 1, рис. 1). Ин-

Таблица 1
Рыбоводные циклы и даты проведения ихтиопатологического мониторинга на заводах
Table 1

Fish breeding cycles and dates of ichthyopathological monitoring at hatcheries

ЛРЗ	Рыбоводный цикл, этапы (сезоны)											
	2016–2017			2017–2018			2018–2019			2019–2020		
	и	в	п	и	в	п	и	в	п	и	в	п
Таранайский	15.11	31.01	26.04	16.11	18.01	18.04	—					
Лесной	01.12	02.02	27.04	14.11	17.01	16.04	07.11	23.01	24.04	11.11	21.01	21.04
Фирсовка	17.11	09.02	03.05	14.11	06.02	19.04	13.11	07.02	25.04	13.11	13.02	29.04
Буюкловский	24.11	16.02	10.05	23.11	25.01	15.05	15.11	30.01	16.05	21.11	30.01	14.05
Лазовой	—			22.11	24.01	15.05	14.11	29.01	15.05	20.11	29.01	13.05
Люблино	—									25.11	23.01	23.04
Охотский	—						21.11	24.01	22.04	—		

Примечания. Здесь и далее во всех таблицах: и — инкубация, в — выдерживание, п — подращивание. «—» — исследования не проводились.

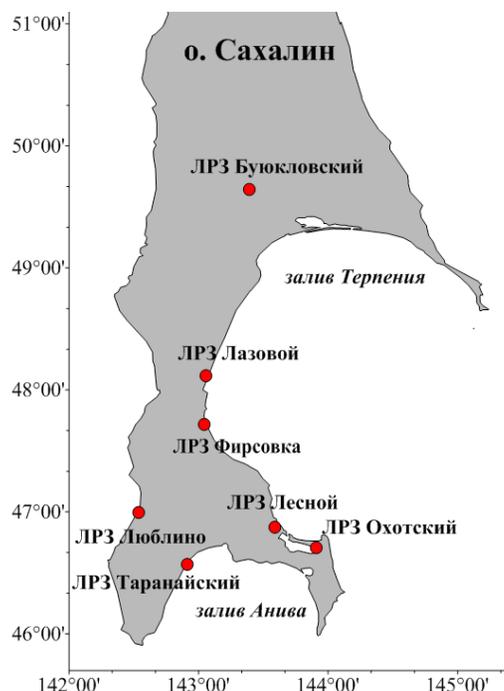


Рис. 1. Лососевые заводы, где проводился ихтиопатологический мониторинг в 2016–2020 гг.

Fig. 1. Salmon hatcheries where ichthyopathological monitoring was conducted in 2016–2020

формация о температуре и содержании растворенного кислорода в воде, поступавшей на завод в день проведения обследования, а также данные по отходу икры, личинок и молоди были предоставлены владельцами и сотрудниками заводов.

Отбор проб для санитарно-бактериологической оценки воды выполняли на этапах инкубации икры (ноябрь-декабрь), выдерживания личинок (январь-февраль), подращивания молоди (апрель-май) (табл. 1). Пробы воды отбирали из канала или трубы, подающих воду в цех, в стеклянные стерильные емкости объемом 250 мл. Санитарно-бактериологический анализ проб воды проводили согласно Методическим указаниям*.

На заводах Буюкловский, Лазовой, Фирсовка, Люблино первичные посевы проб воды выполняли в заводской лаборатории сразу после отбора. Отобранные пробы (объем 1000 мл) на заводах Лесной, Таранайский, Охотский доставляли в лабораторию СахНИРО. Доставку проб осуществляли в термобоксах при температуре 4–6 °С в течение 1–2 ч с момента отбора.

В пробах воды для оценки качества, согласно Методическим указаниям*, определяли:

— присутствие условно-патогенных микроорганизмов pp. *Pseudomonas*, *Aeromonas*;

— наличие санитарно-показательных бактерий группы кишечной палочки (БГКП);

— численность сапротрофной микрофлоры — общее микробное число (ОМЧ).

Помимо индикаторных групп микроорганизмов, перечисленных в Методических указаниях*, видовому определению подвергались микроорганизмы, формировавшие колонии, количественно преобладавшие в посевах при росте на твердых средах. Для видовой идентификации использовали классические приемы определения культуральных признаков и биохимических свойств бактерий, описанные в руководствах [Лабораторный практикум..., 1983; Blue Book, 2016**], а также Определитель бактерий... [1997]. Всего было исследовано 90 проб воды. Выделено и протестировано 166 бактериальных культур.

Результаты и их обсуждение

Краткая характеристика заводов

Заводы, охваченные ихтиопатологическим мониторингом в период с 2016 по 2020 г., построены в разные годы, находятся как в федеральной, так и в частной собственности. Некоторые из них переданы в аренду (табл. 2).

Для биотехники выращивания на рассматриваемых рыбоводных заводах характерно использование проточной воды на всех этапах воспроизводства. Инкубация икры осуществляется в аппаратах Аткинса или типа «бюкс», выдерживание личинок и подращивание молоди — в бетонных каналах либо пластиковых ваннах (рис. 2).

Исключение составляет завод, стоящий на р. Лазовой, где применяются установки замкнутого водоснабжения (УЗВ). Здесь этапы инкубации икры и выдерживания личинок кеты проходят в вертикальных инкубационных аппаратах, размещенных в небольших цехах (рис. 3).

Основные объекты выращивания на описываемых заводах — кета и горбуша. Воспроизводством кижуча, помимо кеты, много лет занимается Буюкловский завод.

В последние годы объемы выращивания горбуши снижаются. На Лесном заводе в 2020 г. заложено икры горбуши на 19 млн меньше по сравнению с 2018 г. (рис. 4). На ЛРЗ Фирсовка за три года, начиная с 2017 г., объемы выращиваемой горбуши

* Методические указания по санитарно-бактериологической оценке рыбохозяйственных водоемов. URL: <https://base.garant.ru/2158924/>

** Blue Book 2016. Fish Health Section Blue Book. 2016 Edition / Suggested Procedures For The Detection And Identification Of Certain Finfish And Shellfish Pathogens. URL: <https://units.fisheries.org/fhs/fish-health-section-blue-book-2020>.

Характеристика ЛРЗ, где проводился ихтиопатологический мониторинг
в период с 2016 по 2020 г.

Characteristics of salmon hatcheries where ichthyopathological monitoring was conducted
in 2016–2020

ЛРЗ	Год постройки	Год последней реконструкции	Вид собственности	Разводимый вид
Таранайский	1923	2007	Федеральная	Кета*
				Горбуша
Буюкловский	1924	1997		Кета
				Кижуч
Охотский	1932	1991	Федеральная, передан в аренду	Кета
Лесной	1940	1999		Кета
				Горбуша
Фирсовка	2005	–	Частная	Кета
				Горбуша
Лазовой	2002	–		Кета
Люблино	2020	–		Кета

* На сахалинских ЛРЗ воспроизводят только осеннюю кету.



а



б

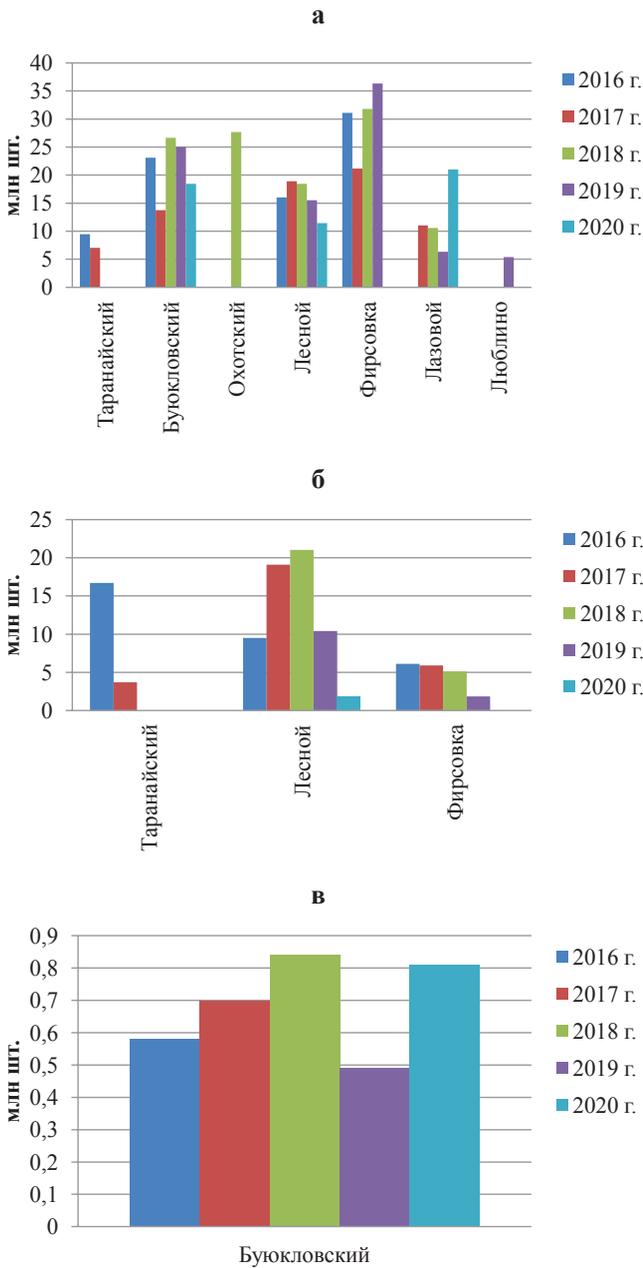
Рис. 2. Инкубационные аппараты типа «бок» (а) и бетонные каналы (б) на Буюкловском ЛРЗ

Fig. 2. Incubation devices of the «box» type (a) and concrete channels (b) at Buyuklovsky hatchery



Рис. 3. Вертикальные инкубационные аппараты на ЛРЗ Лазовой

Fig. 3. Vertical incubation devices at Lazovoy hatchery



сократились более чем в три раза (данные по закладке икры предоставлены владельцами заводов).

Объемы закладки икры кижуча на Буюкловском заводе стабильно небольшие уже долгие годы, в том числе и в период с 2016 по 2020 г.: количество заложеной икры варьировалось от 0,49 до 0,84 млн шт. (рис. 4).

Рис. 4. Динамика объемов выращивания молоди кеты (а), горбуши (б), кижуча (в) на лососевых заводах Сахалина в 2016–2020 гг.

Fig. 4. Dynamics of cultivation for juvenile chum salmon (а), pink salmon (б), and coho salmon (в) at Sakhalin salmon hatcheries in 2016–2020

Качество воды на лососевых заводах

На заводах, как правило, имеется несколько источников водоснабжения, благодаря которым обеспечивается наиболее подходящий состав воды (по температуре и содержанию кислорода), а также режим ее подачи в периоды инкубации икры, выдерживания личинок и подращивания молоди.

Заводы Таранайский, Буюкловский, Лесной, Фирсовка, Люблино имеют сложную систему водоподдачи. Кроме поверхностной воды базовой реки, здесь используют подрусловые, дренажные, грунтовые воды, ручьи (табл. 3). На Охотском заводе основной водоисточник — грунтовые воды из шахтных колодцев. В установки замкнутого типа на заводе Лазовой подается главным образом вода р. Лазовой.

На одном этапе разведения в разные годы в зависимости от температуры воды могут использоваться различные варианты водоснабжения завода. Например, при

Водоснабжение ЛРЗ на этапах рыбоводного цикла в 2016–2020 гг.

Water supply at the hatcheries in 2016–2020, by stages of the fish breeding cycle

Завод	Разводимый вид лососей	Этапы рыбоводного цикла		
		Инкубация	Выдерживание	Подращивание
Таранайский	Горбуша	Реки Таранай, Голая		
	Кета	Реки Таранай, Голая, колодец, грунтовые воды		
Лесной	Горбуша	Грунтовая вода, р. Очепуха		Грунтовая вода, р. Очепуха/р. Очепуха
	Кета	Грунтовая вода		
Буюкловский	Кета	Ручей Солдатский, подрусловая вода р. Буюклинка/подрусловая вода р. Буюклинка		
	Кижуч	Ручей Солдатский, подрусловая вода р. Буюклинка/подрусловая вода р. Буюклинка	Ручей Солдатский	Ручей Солдатский, подрусловая вода р. Буюклинка/ручей Солдатский/подрусловая вода р. Буюклинка
Лазовой	Кета	Р. Лазовая/р. Лазовая, колодец		Р. Лазовая
Фирсовка	Горбуша	Подрусловая вода р. Фирсовка, грунтовая вода/подрусловая вода р. Фирсовка	Р. Фирсовка	Подрусловая вода р. Фирсовка, грунтовая вода/подрусловая вода р. Фирсовка
	Кета	Подрусловая вода р. Фирсовка/подрусловая вода р. Фирсовка, дренажная вода	Подрусловая вода р. Фирсовка/р. Фирсовка	Подрусловая вода р. Фирсовка, грунтовая вода
Люблино	Кета	Р. Зырянская	Р. Зырянская, дренажные воды	Дренажная вода
Охотский	Кета	Грунтовая вода, шахтный колодец	Шахтный колодец	

подращивании молоди на Буюкловском заводе в цеха может подаваться только вода из ручья Солдатского или подрусловая вода р. Буюклинка, либо смешанная в разных пропорциях из них.

Условия разведения для каждого вида лососевых дальневосточного региона в целом и на Сахалине и Курильских островах в частности имеют свои особенности.

Горбуша требовательна к содержанию кислорода в воде. Наблюдения за развитием икры горбуши в одной из лососевых рек бассейна Амура показали, что при содержании в воде кислорода 3–4 мг/л погибало более 50 % икры, а среди вылупившихся эмбрионов половина имела уродства: анофтальмию, микрофтальмию, циклопию, микроцефалию. В воде, содержащей 6,3 мг/л кислорода, эмбрионы отставали в росте, а при 7,0–8,0 мг/л развитие соответствовало норме [Смирнов, 1975]. Основываясь на результатах, полученных в ходе исследований сахалинских рек, А.Н. Канидьев [1967] считал оптимальным для развития горбуши содержание кислорода в воде от 8 до 11 мг/л.

Как показали данные, собранные в ходе мониторинга, на заводах, где развивалась горбуша, содержание кислорода в период инкубации не опускалось ниже 7,0 мг/л, в период выдерживания было высоким и составляло от 10,5 до 14,2 мг/л, в период подращивания — от 8,0 до 12,2 мг/л (табл. 4).

В.Н. Ефанов и А.В. Бойко [2014], полагаясь на данные, полученные при изучении условий воспроизводства на ЛРЗ «Рейдовый» (о. Итуруп) Сахалинской области, установили, что температура воды в период инкубации икры горбуши уменьшается с 7,9 °С в сентябре до 3,1 °С в декабре.

Содержание кислорода и температура воды на разных этапах воспроизводства горбуши на ЛРЗ в 2016–2020 гг.

Dissolved oxygen content and water temperature at different stages of pink salmon reproduction at the hatcheries in 2016–2020

Завод	Годы исследования	Температура, °С			Содержание кислорода, мг/л		
		и	в	п	и	в	п
Таранайский	2016–2017	2,0	0,5	3,8	Н.д	10,8	12,2
	2017–2018	2,5	1,0	2,5	Н.д	Н.д	12,0
Лесной	2016–2017	0,1	0,1	2,3	11,0	11,0	9,7
	2017–2018	3,9	0,1	0,6	7,1	11,4	9,6
	2018–2019	2,3	0,1	3,0	11,1	11,3	10,6
	2019–2020	1,8	0,1	0,3	13,3	14,2	11,3
Фирсовка	2016–2017	5,0	0,4	2,0	10,2	12,4	11,6
	2017–2018	5,7	0,3	1,1	9,3	10,5	11,3
	2018–2019	3,6	1,0	1,5	9,0	11,1	8,0
	2019–2020	5,5	–	1,7	7,0	–	10,6
<i>Min–max</i>		<i>0,1–5,7</i>	<i>0,1–1,0</i>	<i>0,3–3,8</i>	<i>7,0–13,3</i>	<i>10,5–14,2</i>	<i>8,0–12,2</i>
<i>Среднее</i>		<i>3,2</i>	<i>0,4</i>	<i>1,9</i>	<i>9,75</i>	<i>11,6</i>	<i>10,7</i>

Примечание. Здесь и в табл. 5 н.д — нет данных.

Полученные на заводах данные, показали, что температура при инкубации икры горбуши с середины ноября по начало декабря может опускаться значительно ниже. Так, в декабре 2016 г. на Лесном заводе температура воды в период инкубации была зафиксирована на отметке 0,1 °С (табл. 4). Практика разведения лососей на сахалинских заводах показала, что при такой низкой температуре растягиваются сроки инкубации икры, происходит более поздний выклев эмбрионов, при этом патологии в их развитии и гибели не наблюдается. В целом диапазон температурных показателей, учитывая снижение, для этого периода находился в пределах от 5,7 до 0,1 °С.

Для этапа выдерживания личинок в рыбоводных каналах оптимальной, согласно данным литературы, для января-февраля является среднемесячная температура воды 2,3–1,7 °С [Бойко, 2014; Ефанов, Бойко, 2014].

На обследованных заводах при выдерживании личинок горбуши в период с середины января по середину февраля температурные показатели находились в пределах от 0,1 до 1,0 °С (табл. 4). Развитие личинок происходило без отклонений.

Сравнительно низкие значения температуры воды относительно показателей, приводимых в литературе, были и на этапе подращивания молоди весной. В конце апреля — начале мая реки начинают заполняться тальми водами, что приводит к понижению температуры воды, поступающей на заводы. За период наблюдения минимальная температура воды была зафиксирована на уровне 0,3 °С (Лесной ЛРЗ, апрель 2020 г.), максимальная составила 3,8 °С. Низкая температура не влияла на жизнестойкость молоди, но отодвигала начало кормления, которое не рекомендуется начинать при температуре ниже 3 °С.

При воспроизводстве горбуши на рассматриваемых заводах используется главным образом речная вода, температура которой находится в прямой зависимости от температуры воздуха. В сезонной динамике температурного показателя воды для этого вида лососей отмечалось его снижение в зимний период и рост весной к окончанию рыбоводного цикла перед выпуском молоди в естественную среду обитания.

Условия разведения *кеты* отличаются от условий воспроизводства горбуши. По данным А.И. Смирнова [1975] на Сахалине осенняя кета хорошо развивалась при содержании кислорода в воде от 4,4 до 6,5 мг/л.

Выявленный на заводах диапазон показателей растворенного кислорода в воде был шире и содержание кислорода выше. Во время инкубации содержание кислорода

изменялось от 4,9 до 13,3 мг/л, в период выдерживания — от 7,3 до 12,9 мг/л, при подращивании — от 6,3 до 12,3 мг/л (табл. 5).

Таблица 5

Содержание кислорода и температура воды на разных этапах воспроизводства кеты на ЛРЗ в 2016–2020 гг.

Table 5

Dissolved oxygen content and water temperature at different stages of chum salmon reproduction at the hatcheries in 2016–2020

Завод	Годы исследования	Температура, °C			Содержание кислорода, мг/л		
		и	в	п	и	в	п
Таранайский	2016–2017	5,2	2,4	4,5	7,8	10,8	10,8
	2017–2018	3,0	2,0	4,3	Н.д	Н.д	11,7
Лесной	2016–2017	3,4	2,4	2,4	10,0	8,4	6,3
	2017–2018	3,9	1,7	1,3	7,1	7,3	7,5
	2018–2019	3,9	1,6	2,8	8,2	7,3	7,6
	2019–2020	1,8	1,3	1,0	13,3	9,8	7,9
Фирсовка	2016–2017	5,0	1,8	2,0	10,9	12,9	12,3
	2017–2018	5,7	1,6	1,6	10,6	10,1	10,3
	2018–2019	3,4	1,8	1,5	9,0	10,3	8,3
	2019–2020	5,7	1,6	1,7	7,3	Н.д	10,6
Буюкловский	2016–2017	4,0	1,9	2,4	11,8	11,9	10,8
	2017–2018	4,3	4,2	4,0	11,3	11,8	11,0
	2018–2019	5,3	4,0	5,1	11,2	11,0	10,0
	2019–2020	5,2	3,8	3,3	10,0	8,0	8,0
Лазовой	2017–2018	4,3	3,5	5,1	9,5	8,9	8,7
	2018–2019	5,1	1,0	10,2	4,9	12,0	8,5
	2019–2020	2,7	3,4	3,8	9,1	8,9	8,9
Охотский	2018–2019	6,5	6,5	6,7	6,0	8,3	9,0
Люблино	2019–2020	4,0	1,3	4,1	Н.д	10,0	12,0
<i>Min-max</i>		<i>1,8–6,5</i>	<i>1,0–6,5</i>	<i>1,0–10,2</i>	<i>4,9–13,3</i>	<i>7,3–12,9</i>	<i>6,3–12,3</i>
<i>Среднее</i>		<i>4,3</i>	<i>2,5</i>	<i>3,6</i>	<i>9,3</i>	<i>9,9</i>	<i>9,3</i>

За период 2016–2020 гг. самое низкое значение показателя растворенного кислорода при проведении исследований — 4,9 мг/л — было отмечено на этапе инкубации икры кеты в условиях ЛРЗ Лазовой при температуре воды 5,1 °C. Межгодовые значения на этапах воспроизводства на отдельных заводах находились в пределах двух-шести единиц, для других наблюдалось постоянство кислородного показателя. Незначительные межгодовые колебания содержания растворенного кислорода характерны для этапа инкубации икры на Буюкловском заводе. Здесь уровень растворенного кислорода из года в год не опускался ниже 10 мг/л.

Кета, в отличие от горбуши, менее требовательна к количеству кислорода в воде, но для ее выращивания нужна более высокая температура, и границы температурного оптимума для сахалинских лососей лежат, по мнению некоторых исследователей, в пределах 4,5–7,1 °C (среднемесячные показатели) [Ефанов, Бойко, 2014].

На заводах за период исследований вариации температуры воды при воспроизводстве кеты охватывали более широкий диапазон с нижней границей на уровне 1,0 °C, верхней — 10,2 °C (табл. 5). Заметно выше температура воды была осенью, в ходе инкубации икры. Снижение температурных показателей происходило в начале зимы на этапе выдерживания личинок. Основная и закономерная причина этого — использование в качестве одного из источников водоснабжения речных вод, температура которых понижается зимой.

Стабильной температурой выращивания в течение всего рыболовного сезона отличался Охотский завод. Здесь на всех этапах разведения температура воды держалась

на уровне 6,5–6,7 °С. Такие температурные условия обеспечиваются за счет использования на заводе грунтовой воды из шахтных колодцев.

Исследователи биологии тихоокеанских лососей приводят разные данные о необходимом количестве кислорода в воде для *кижуча*. Описан случай снижения содержания кислорода в воде инкубатора до 2,7 мг/л при температуре 1,5 °С, приведший к гибели личинок, но не повлиявший на выживаемость икры [Семко, 1954]. У личинок кижуча с небольшим остатком желтка признаки асфиксии могут наблюдаться при снижении количества кислорода до 2,58 мг/л, при этом улучшение тока воды в течение получаса возвращает таких личинок в активное состояние [Смирнов, 1975]. Некоторые авторы сходятся на том, что необходимый минимум кислорода в воде для выращивания кижуча составляет около 4 мг/л [Townsend, Cheyne, 1944; Смирнов, 1975].

В природе икра кижуча развивается в грунте при температуре 4,0–6,6 °С, реже ниже 4,0 °С [Зорбиди, 2010]. Экспериментальным путем установлено, что при постоянно низкой температуре (0,8 °С) на этапе инкубации икры у зародышей кижуча формируется холодоустойчивость, которая сохраняется до момента вылупления [Городилов, 2009]. В качестве благоприятных диапазонов температуры для инкубации икры кижуча некоторые исследователи указывают диапазоны 8–9 °С [Басов, 1986] и 10–11 °С [Городилов, 2009]. Минимальная температура воды в период выдерживания может держаться около 2,5 °С [Townsend, Cheyne, 1944; Смирнов, 1975].

На ЛРЗ Сахалина по сведениям Е.В. Тарасюк [2004] температура, при которой начинается развитие эмбрионов кижуча, изменяется в пределах 4,4–11,5 °С. При этом массовое вылупление может происходить в диапазоне от 0,9 до 6,3 °С. Средние значения температурного показателя в начальный период развития укладываются в довольно широкий диапазон — от 2,4 до 8,4 °С, но чаще инкубация протекает при средней температуре 4,0–5,0 °С.

Согласно данным, собранным в ходе мониторинга в 2016–2020 гг., на Буюкловском заводе в период инкубации икры кижуча были аналогичные температурные условия. Значения показателя изменялись в пределах 4,0–5,3 °С при среднем значении 4,7 °С. Вариации температурного показателя на этапах выдерживания и подращивания также находились в относительно узком диапазоне при почти равных средних значениях (табл. 6). Содержание кислорода за период наблюдений не опускалось ниже 8,0 мг/л, чаще было выше 10 мг/л.

Таблица 6

Содержание кислорода, температура воды на разных этапах воспроизводства кижуча на Буюкловском заводе в 2016–2020 гг.

Table 6

Dissolved oxygen content and water temperature at different stages of coho salmon reproduction at Buyuklovsky hatchery in 2016–2020

Годы исследования	Температура, °С			Содержание кислорода, мг/л		
	и	в	п	и	в	п
2016–2017	4,0	3,5	3,2	11,8	11,9	10,8
2017–2018	4,3	4,6	4,2	11,3	10,2	11,0
2018–2019	5,3	4,2	6,1	11,2	11,0	10,0
2019–2020	5,2	3,8	3,4	10,0	8,0	8,0
<i>Min-max</i>	<i>4,0–5,3</i>	<i>3,5–4,6</i>	<i>3,2–6,1</i>	<i>10,0–11,8</i>	<i>8,0–11,9</i>	<i>8,0–11,0</i>
<i>Среднее</i>	<i>4,7</i>	<i>4,0</i>	<i>4,2</i>	<i>11,1</i>	<i>10,3</i>	<i>10,0</i>

Характеризуя условия воспроизводства молоди горбуши, кеты и кижуча на рассматриваемых сахалинских заводах, можно отметить следующее. Выявленные термический и кислородный режимы не противоречат сложившимся представлениям о благоприятных или оптимальных условиях разведения при заводском выращивании различных видов лососей в регионе. Вместе с тем следует отметить, что процесс разведения горбуши на этапе выдерживания личинок происходит при более низких, относительно приводимых

в литературе, значениях температуры — от 0,1 до 1,0 °С. Сравнительно низкие значения температуры характерны и для этапа подращивания кеты для ЛРЗ Лесной (1,3–1,7 °С) и Фирсовка (1,6–1,8 °С). Охотский завод отличается постоянством температуры (6,5–6,7 °С) в течение всего рыболовного цикла при выращивании кеты за счет использования воды из шахтных колодцев. Границы диапазона растворенного кислорода, зафиксированного для заводских водоисточников, при разведении горбуши и кеты в целом согласуются с показателями, описанными в литературе, при этом верхние значения для горбуши на несколько единиц, а для кеты в два раза выше приводимых в литературе.

Санитарно-гигиеническое благополучие водоисточников наряду с температурным и кислородным режимом является важным критерием для создания благоприятных условий разведения тихоокеанских лососей на заводах.

Общее микробное число — показатель, характеризующий уровень сапробности вод, загрязнения их органическими веществами. Количество сапротрофных бактерий в водных объектах коррелирует с содержанием органических веществ [Кондратьева и др., 2000; Садчиков, 2002]. Увеличение концентраций подобных соединений в воде ведет к росту численности сапротрофной группы микробного сообщества, что, в свою очередь, приводит к снижению концентрации растворенного кислорода, используемого бактериями в процессах разложения органических веществ на этапах его окисления. Такая зависимость наблюдается в реках в периоды паводков, когда с береговой зоны поступают органические вещества различного генезиса.

За период с 2016 по 2020 г., как правило, в течение всего рыболовного цикла по основному бактериологическому показателю (ОМЧ) вода на заводах соответствовала первой категории с характеристикой «чистая»*. Значение этого показателя не превышало установленного для чистых вод нормативного значения в 1000 КОЕ/мл (табл. 7).

Ухудшение качества воды до второй категории с характеристикой «загрязненная», что не является по действующим ветеринарно-санитарным требованиям препятствием для ее использования при разведении рыб*, в ходе исследований было зафиксировано лишь в нескольких случаях — в периоды паводков либо сильных осадков. Так, превышение нормативного значения ОМЧ для чистых вод более чем в 4,5 раза было выявлено во время инкубации икры осенью 2019 г. на ЛРЗ Люблино (табл. 7). Обследование проводилось после сильных дождей. В воде регистрировалось много бациллярных форм микроорганизмов, характерных для почвенных микробных сообществ, что отражало влияние поверхностного стока на заводской водоисточник.

На ЛРЗ Лазовой зимой и весной 2018 г. показатель ОМЧ также был повышен. Однако здесь основной причиной ухудшения качества воды был застой воды в системе водоподачи в результате технологического сбоя. Превышение показателя было незначительным — 1330 КОЕ/мл. Паводок оказал негативное влияние на качество воды ЛРЗ Фирсовка весной 2019 г.

Бактерии группы кишечной палочки встречались в пробах воды на разных этапах рыболовного цикла на всех заводах, за исключением Охотского (табл. 8). Отсутствие сезонной динамики и эпизодический характер выделения этой индикаторной группы при единичном росте на диагностических средах (коли-индекс не более 10) позволили сделать вывод об отсутствии хронического влияния на основные водоисточники заводов хозяйственно-бытовых стоков, поступающих с прилегающей к заводу территории.

Как показала практика микробиологических исследований, из 0,1 мл пробы воды заводских водоисточников может выделяться от 1 до 20 колоний условно-патогенных микроорганизмов *Pseudomonas fluorescens* и *Aeromonas hydrophila* — возбудителей бактериальной геморрагической септицемии лососевых рыб. Известно, что аэромонады и псевдомонады являются важнейшими этиологическими агентами и играют большую роль в развитии патологических процессов у рыб как в естественных условиях, так и в

* Методические указания по санитарно-бактериологической оценке рыбохозяйственных водоемов. URL: <https://base.garant.ru/2158924/>

Значения показателя ОМЧ водоисточников на ЛРЗ при выращивании горбуши, кеты и кижуча в 2016–2020 гг.

Number of saprotrophic bacteria in the hatcheries water sources during cultivation of juvenile pink, chum, and coho salmon in 2016–2020

Завод	Годы исследования	ОМЧ, КОЕ/мл		
		и	в	п
Горбуша				
Таранайский	2016–2017	850	190	820
	2017–2018	653	510	1630
Лесной	2016–2017	720	270	500
	2017–2018	305	100	385
	2018–2019	320	150	450
	2019–2020	340	205	950
Фирсовка	2016–2017	110	240	175
	2017–2018	195	233	705
	2018–2019	360	185	2200
	2019–2020	35	178	350
<i>Min-max</i>		<i>35–850</i>	<i>100–510</i>	<i>175–2200</i>
<i>Среднее</i>		<i>388,8</i>	<i>226,1</i>	<i>816,5</i>
Кета				
Таранайский	2016–2017	540	120	690
	2017–2018	873	30	830
Лесной	2016–2017	230	220	610
	2017–2018	305	50	600
	2018–2019	65	120	365
	2019–2020	340	165	823
Фирсовка	2016–2017	110	45	175
	2017–2018	195	233	705
	2018–2019	330	60	2105
	2019–2020	35	178	350
Буюкловский	2016–2017	150	10	120
	2017–2018	430	30	530
	2018–2019	130	15	100
	2019–2020	10	27	115
Лазовой	2016–2017	–	275	970
	2017–2018	495	1330	666
	2018–2019	190	210	615
	2019–2020	130	335	485
Охотский	2018–2019	10	5	5
Люблино	2019–2020	4595	595	510
<i>Min-max</i>		<i>10–4595</i>	<i>5–1330</i>	<i>5–2105</i>
<i>Среднее</i>		<i>253,7(482,3)*</i>	<i>202,7</i>	<i>618,5</i>
Кижуч				
Буюкловский	2016–2017	130	5	180
	2017–2018	345	45	605
	2018–2019	160	40	285
	2019–2020	20	85	130
<i>Min-max</i>		<i>20–345</i>	<i>5–85</i>	<i>130–605</i>
<i>Среднее</i>		<i>163,7</i>	<i>43,8</i>	<i>300</i>

* Среднее значение с учетом максимального показателя и без него.

Таблица 8

Обнаружение БГКП в водоисточниках на ЛРЗ в 2016–2020 гг.

Table 8

Detection of bacteria from *E. coli* group in water sources at the hatcheries in 2016–2020

Завод	Рыбоводный сезон											
	2016–2017			2017–2018			2018–2019			2019–2020		
	и	в	п	и	в	п	и	в	п	и	в	п
Таранайский	–	–	+	–	–	–						
Лесной	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–	+	+
Фирсовка	–	–	+	–	–	–	+	–	+	–	+	+
Буюкловский	–	–	+	–	–	+	+	–	–	–	–	–
Лазовой		+	+	+	+	+	+	–	–	+	–	–
Люблино	*									+	–	+
Охотский							–	–	–			

Примечание. Здесь и в табл. 9 «–» — не выделены; «+» — обнаружены; * — исследования не проводились.

аквакультуре. Они могут вызывать заболевания молоди и половозрелых рыб, протекающие энзоотически или эпизоотически с высокой смертностью [Богданова, 1994; Вялова, Полтева, 1994; Шкурина и др., 1999; Ихтиопатология, 2003; Вялова, Шкурина, 2005].

Архивные данные мониторинговых исследований на сахалинских лососевых заводах свидетельствуют о том, что представители указанных таксонов высевались из проб заводских водоисточников ежегодно, начиная с 80-х гг. прошлого века. Так, *A. hydrophila* в рыбоводный сезон 1984–1985 гг. высевалась в ходе каждого бактериологического исследования воды на заводах в весенне-зимний период при обследовании хозяйств. Следует отметить, что оба вида микроорганизмов являются автохтонными представителями микробных сообществ водных объектов и их обнаружение в пробах воды на заводах вполне закономерно. В течение рыбоводных циклов 2016–2020 гг. возбудители аэромонадно-псевдомонадной септицемии выделялись из отобранных на заводах проб воды нерегулярно (табл. 9). Оба вида микроорганизмов встречались

Таблица 9

Обнаружение *P. fluorescens* и *A. hydrophila* в водоисточниках на ЛРЗ в 2016–2020 гг.

Table 9

Detection of *P. fluorescens* and *A. hydrophila* in water sources at the hatcheries in 2016–2020

Завод	Рыбоводный сезон											
	2016–2017			2017–2018			2018–2019			2019–2020		
	и	в	п	и	в	п	и	в	п	и	в	п
<i>Aeromonas hydrophila</i>												
Таранайский	–	–	–	–	–	+						*
Лесной	–	–	–	–	–	–	–	–	+	+	+	
Фирсовка	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Буюкловский	–	–	–	+	–	–	–	–	–	+	–	–
Лазовой	–	–	–	–	–	–	–	+	–	–	+	–
Люблино										+	+	–
Охотский							–	–	+			
<i>Pseudomonas fluorescens</i>												
Таранайский	–	–	–	–	–	+						*
Лесной	–	–	–	+	–	+	+	–	+	–	–	+
Фирсовка	–	+	–	–	+	+	–	–	+	+	–	–
Буюкловский	–	–	–	+	–	+	+	–	+	+	–	+
Лазовой	–	–	+	+	+	–	–	+	–	+	+	–
Люблино											+	+
Охотский							–	–	–			

при разных температурах воды, вне зависимости от сезона и этапа воспроизводства. Обсемененность проб была невысокой, в посевах воды, как правило, присутствовали единичные колонии возбудителей.

Вместе с *A. hydrophila* из заводских водоисточников высевались и другие виды аэромонад — *A. bestiarum*, *A. media*, *A. sobria*. Они также относятся к представителям автохтонной микрофлоры рек и способны при ухудшении условий среды вызывать заболевания рыб [Вялова, Шкурина, 2005]. Трижды за период исследований был выделен из заводских водоисточников возбудитель фурункулеза лососевых рыб бактерии *A. salmonicida*. На Буюкловском заводе возбудитель был обнаружен осенью и весной в рыбоводный сезон 2017–2018 гг., на ЛРЗ Лазовой — в 2017 г. на этапе подращивания молоди.

Бактерии *P. fluorescens* из воды выделялись ежегодно, на разных этапах рыбоводного цикла, чаще, чем аэромонады. Такая ситуация вполне закономерна, поскольку температура воды в меньшей степени влияет на выживаемость этих микроорганизмов. В пробах заводской воды встречались и другие представители р. *Pseudomonas* — *P. graminis*, *P. fragi*, *P. putida*, *P. alcaligenes*, а также виды, ранее определявшиеся как *P. pseudoalcaligenes* и *P. vesicularis* и переименованные согласно обновленной таксономии видов (<https://lpsn.dsmz.de/>) соответственно в *P. oleovorans* и *Brevundimonas vesicularis*.

Наряду с аэромонадами и псевдомонадами в бактериоценозе водоисточников присутствовали представители ряда других таксонов. Чаще других в пробах воды встречались представители планктонной микробиоты сахалинских рек — бактерии pp. *Serratia*, *Citrobacter*, *Vibrio*, *Acinetobacter*, *Flavobacterium*. Последние могут провоцировать развитие заболеваний у ослабленной молоди при ухудшении условий разведения [Устименко, 2006; Austin, Austin, 2007].

Несмотря на присутствие различных потенциально патогенных микроорганизмов в заводских водоисточниках, за рассматриваемый период мониторинга инфекционных заболеваний бактериальной этиологии на исследованных лососевых заводах зарегистрировано не было.

Следует отметить, что распространенное на ЛРЗ и довольно часто возникающее на стадии инкубации икры заболевание — сапролегниоз (микоз) — в каждом случае купировалось обработкой икры противогрибковыми препаратами и проведением соответствующих технологических работ (переборка икры, регуляция водного режима). Проводимые профилактические обработки сдерживали развитие протозойных инвазий. В результате своевременно проводимых мероприятий гибели икры, личинок, молоди на заводах не происходило.

В целом валютекущих хронических инфекционных заболеваний икры, личинок и молоди, паразитарных инфекций, а также заболеваний неинфекционной природы, сопровождавшихся значительной гибелью объектов разведения, за период исследований на описываемых заводах зафиксировано не было.

Для разносторонней оценки условий воспроизводства на лососевых заводах, обследованных за период с 2016 по 2020 г., были привлечены данные по отходу объектов разведения на разных этапах рыбоводного цикла (табл. 10). Такого рода информация косвенно, но при этом вполне объективно позволяет дать характеристику условиям разведения в хозяйствах аквакультуры. Приведенные в табл. 10 величины отхода рассчитаны в соответствии с нормативами выживаемости на каждом этапе воспроизводства*.

За весь период наблюдений показатели отхода на этапах инкубации икры, выдерживания личинок и подращивания молоди в целом не превышали нормативов

* Приказ Минсельхоза России от 30.01.2015 № 25 (ред. от 25.08.2015) «Об утверждении Методики расчета объема добычи (вылова) водных биологических ресурсов, необходимого для обеспечения сохранения водных биологических ресурсов и обеспечения деятельности рыбоводных хозяйств, при осуществлении рыболовства в целях аквакультуры (рыбоводства)». URL: <https://docs.cntd.ru/document/420253563>.

Таблица 10

Показатели отхода на ЛРЗ Сахалина в 2016–2020 гг., %

Table 10

Juveniles mortality at the Sakhalin hatcheries in 2016–2020, %

Завод	2016			2017			2018			2019			2020			Норматив			
	и	в	п	и	в	п	и	в	п	и	в	п	и	в	п	и	в	п	
Горбуша																			
Таранайский	6,1	1,40	0,40	7,7	0,80	0,20													
Лесной	6,0	0,60	0,30	8,4	0,70	0,20	10,70	0,60	0,20	6,1	0,60	0,20	11,0	0,60	0,20				2,5
Фирсовка	6,7	0,20	2,20	5,8	0,30	0,07	2,90	0,07	0,10	6,9	0,19	0,38							
Кета																			
Таранайский	5,8	0,80	1,0	7,2	0,70	0,40													
Лесной	9,1	0,80	0,70	10,1	0,80	0,30	14,70	0,70	0,20	13,5	0,80	0,10							
Фирсовка	6,4	0,20	0,60	6,8	0,25	0,10	7,50	0,36	1,21	8,2	0,30	1,50							
Буюкловский	4,7	1,30	0,06	5,0	0,20	0,10	4,20	0,40	0,30	4,2	0,30	0,08	10,0	0,30	0,08				3,0*
Лазовой	7,3	1,04	0,80	5,6	0,97	0,50	5,99	1,04	0,45	8,7	2,50	0,27							
Охотский							13,20	0,20	0,90										
Люблино										0,2	0,26	0,46							
Кижуч																			
Буюкловский	1,4	0,20	0,90	5,6	0,13	0,40	2,40	0,70	2,50	2,0	0,25	0,50	10,0	0,25	0,50	3,0	5,0**		

* Для молоди массой до 0,8 г, выпускаемой на сахалинских ЛРЗ.

** Для молоди массой до 1,0 г, выпускаемой на сахалинских ЛРЗ.

Примечание. Пустые ячейки — исследования не проводились.

(табл. 10). Незначительный сверхнормативный отход был зафиксирован на заводах Охотском и Лесном на этапах инкубации икры в 2018–2019 гг.

Заключение

В ходе анализа полученных данных и результатов проведенных исследований было установлено, что качество воды на семи лососевых заводах Сахалина — Лесной, Таранайский, Лазовой, Люблино, Охотский, Буюкловский, Фирсовка — в период с 2016 по 2020 г. по бактериологическим показателям удовлетворяло требованиям, предъявляемым к рыбохозяйственным водным объектам, вода которых используется на предприятиях аквакультуры. В течение всего рыбоводного цикла по основному бактериологическому показателю (ОМЧ) вода на заводах соответствовала первой и второй категории. Условно-патогенные бактерии из рр. *Pseudomonas* и *Aeromonas*, несмотря на присутствие в заводских водоисточниках, не провоцировали развитие инфекционных заболеваний икры, личинок и молоди.

Температурный и кислородный режимы обеспечивали благоприятные условия разведения горбуши, кеты и кижуча, о чем свидетельствовали нормативные показатели отхода для каждого этапа разведения.

Выявленные для заводских водоисточников диапазоны гидрохимических показателей (температура воды и содержание кислорода) при разведении горбуши, кеты, кижуча в целом согласуются с показателями, описанными в литературе в качестве оптимальных.

Однако полученные в ходе мониторинга данные свидетельствуют о возможности инкубации икры, личинок горбуши и кеты при более низких температурах (0,1–1,0 °С) и более высоких показателях растворенного кислорода на всех этапах разведения лососей.

Таким образом, совокупность полученной в ходе ихтиопатологического мониторинга информации по отходу, гидрохимическим характеристикам, микрофлоре воды, используемой в технологическом процессе, а также отсутствие заболеваний за период исследований позволяют охарактеризовать условия воспроизводства на лососевых рыбоводных заводах Лесной, Таранайский, Лазовой, Люблино, Охотский, Буюкловский, Фирсовка как благоприятные при разведении молоди кеты, горбуши и кижуча.

Благодарности (ASKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают благодарность и признательность руководителям и рыбоводам заводов: Таранайский — В.Р. Романчук, Е.Д. Романчук; Буюкловский — В.М. Кривонос, О.В. Селиховой; Лесной, Охотский — К.А. Проскурякову, В.А. Киселеву, А.А. Мартыненко; Люблино — П.П. Лазутину, Н.Г. Еськову; Лазовой — С.А. Каверзину, М.Н. Ларионовой, Д.Г. Елькину; Фирсовка — А.П. Бородулину, Д.В. Павлюк — за помощь в отборе материала для исследований и предоставленные данные.

The authors are thankful and grateful to managers and staff of the hatcheries: V.R. Romanchuk and E.D. Romanchuk (Taranaysky hatchery), V.M. Krivonos and O.V. Selikhova (Buyuklovsky hatchery), K.A. Proskuryakov, V. A. Kiselev and A.A. Martynenko (Lesnoy and Okhotsky hatcheries), P.P. Lazutin and N.G. Eskov (Lublino hatchery), S.A. Kaverin, M.N. Larionova and D.G. Elkin (Lazovoy hatchery), and A.P. Borodulin and D.V. Pavlyuk (Firsovka hatchery) for assistance in data collection and available data collected in hatcheries.

Финансирование работы (FUNDING)

Данная работа не имела дополнительного спонсорского финансирования.
This study did not have any additional sponsor funding.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

All applicable international, national and/or institutional principles for the care and use of animals have been observed.

The authors declare that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Оба автора совместно проводили сбор, анализ данных, обсуждение результатов, занимались поиском литературы, написанием текста работы. А.В. Полтева осуществляла общую редакцию статьи.

Both authors jointly collected and analyzed the data, discussed the results of analysis, reviewed the scientific literature, and wrote the text; A.V. Polteva edited the article finally.

Список литературы

Басов Ю.С. Биологические основы лососеводства на геотермальных водах // Биол. моря. — 1986. — Т. 12, № 2. — С. 32–38.

Богданова Е.А. Болезни лососевых и сиговых рыб в аквакультуре : моногр. — СПб. : ГосНИОРХ, 1994. — 184 с.

Бойко А.В. Экологические особенности искусственного воспроизводства тихоокеанских лососей в условиях современных рыболовных заводов Сахалинской области : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Петрозаводск : Петрозаводский ГУ, 2014. — 24 с.

Вялова Г.П., Полтева А.В. Бактериальный энтерит чавычи // Систематика, биология и биотехника разведения лососевых рыб : мат-лы V Всесоюз. совещ. — СПб. : ГосНИОРХ, 1994. — С. 35–36.

Вялова Г.П., Шкурина З.К. Микрофлора и бактериальные болезни тихоокеанских лососей естественных популяций и в аквакультуре на Сахалине : моногр. — Южно-Сахалинск : СахНИРО, 2005. — 120 с.

Гаврюсева Т.В., Бочкова Е.В., Сергеев Н.В., Устименко Е.А. Современное состояние здоровья тихоокеанских лососей рода *Oncorhynchus* в аквакультуре Камчатки // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2018. — Вып. 48. — С. 19–30. DOI: 10.15853/2072-8212.2018.48.19-30.

Городилов Ю.Н. Ранний онтогенез тихоокеанских лососей рода *Oncorhynchus*. Проблемы теории и практики : моногр. — Мурманск : ПИНРО, 2009. — 170 с.

Ефанов В.Н., Бойко А.В. Экологические особенности и оптимизация условий искусственного воспроизводства тихоокеанских лососей на современных рыболовных заводах Сахалинской области : моногр. — Южно-Сахалинск : СахГУ, 2014. — 124 с.

Зорбиди Ж.Х. Кижуч азиатских стад : моногр. — Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2010. — 308 с.

Ихтиопатология : учеб. / Н.А. Головина, Ю.А. Стрелков, В.Н. Воронин и др. — М. : Мир, 2003. — 448 с.

Канидьев А.Н. Абиотические условия в нерестовых буграх горбуши (*Oncorhynchus gorbuscha* Walbaum) // Изв. ТИНРО. — 1967. — Т. 61. — С. 94–103.

Кондратьева Л.М., Гаретова Л.А., Имранова Е.Л. и др. Микроорганизмы в экосистемах Приамурья : моногр. — Владивосток : Дальнаука, 2000. — 198 с.

Лабораторный практикум по болезням рыб : учеб. пособие / под ред. В.А. Мусселиус, В.Ф. Ванятинского, А.А. Вихмана и др. — М. : Лег. и пищ. пром-сть, 1983. — 295 с.

Определитель бактерий Берджи. В 2-х т. : пер. с англ. : ред. Дж. Хоулт, Н. Криг, П. Снит и др. — М. : Мир, 1997. — Т. 1. — 432 с.; Т. 2. — 368 с.

Садчиков А.П. Потребление и деструкция органического вещества в водоемах различной трофности // Водные ресурсы. — 2002. — Т. 29, № 1. — С. 92–98.

Семко Р.С. Запасы западнокамчатских лососей и их промысловое использование // Изв. ТИНРО. — 1954. — Т. 41. — С. 3–109.

Смирнов А.И. Биология, размножение и развитие тихоокеанских лососей : моногр. — М. : Московск. ун-та, 1975. — 336 с.

Тарасюк Е.В. Сравнительная оценка результатов использования различных уравнений, описывающих длительность развития эмбрионов кижуча в зависимости от температуры // Биология, состояние запасов и условия обитания гидробионтов в Сахалино-Курильском регионе и сопредельных акваториях : Тр. СахНИРО. — 2004. — Т. 6. — С. 39–54.

Тарасюк Е.В., Тарасюк С.Н. Оценка скорости роста молоди кижуча *Oncorhynchus kisutch* (Walbaum, 1792) в различных температурных условиях // Тр. ВНИРО. — 2015. — Т. 158. — С. 121–135.

Устименко Е.В. Признаки бактериальной жаберной болезни у молоди кижуча на Вилюйском рыболовном заводе (Камчатка) // Вопр. рыб-ва. — 2006. — Т. 7, № 3. — С. 436–445.

Хованский И.Е. Физиологические и функциональные аспекты улучшения качества молоди тихоокеанских лососей, выращиваемой на рыболовных заводах Магаданской области : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — СПб., 1992. — 20 с.

Шкурин З.К., Полтева А.В., Букина И.Ю. Бактериальная инфекция псевдомонадной этиологии у молоди кижуча (*Oncorhynchus kisutch*) // Рыбохозяйственные исследования Мирового океана : тр. междунар. науч. конф. — Владивосток : Дальрыбвтуз, 1999. — Т. 1. — С. 175–176.

Austin B., Austin D.A. Bacterial fish pathogens: disease in farmed and wild fish. Fourth Edition. — Berlin : Praxis Publishing Ltd., 2007. — 593 p.

Townsend L.P., Cheyne H. The influence of hydrogen ion concentration on the minimum dissolved oxygen toleration of the silver salmon, *Oncorhynchus kisutch* (Walbaum) // Ecology. — 1944. — Vol. 25, № 4. — P. 461–466. DOI: 10.2307/1932021.

References

Basov, Yu.S., Biological foundations of salmon farming on geothermal waters, *Biol. Morya (Vladivostok)*, 1986, vol. 12, no. 2, pp. 32–38.

Bogdanova, E.A., *Bolezni lososevykh i sigovykh ryb v akvakul'ture* (Diseases of salmon and whitefish in aquaculture), St. Petersburg: GosNIORKh, 1994.

Boyko, A.V., Ecological features of artificial reproduction of Pacific salmon in conditions of modern fish hatcheries of Sakhalin region, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Petrozavodsk: Petrozavodsk State University, 2014.

Vyalova, G.P. and Polteva, A.V., Bacterial enteritis of Chinook salmon, in *Sistematika, biologiya i biotekhnika razvedeniya lososevykh ryb* (Systematics, biology and biotechnics of salmon breeding), St. Petersburg: GosNIORKh, 1994, pp. 35–36.

Vyalova, G.P. and Shkurina, Z.K., *Mikroflora i bakterial'nyye bolezni tikhookeanskikh lososey yestestvennykh populyatsiy i v akvakul'ture na Sakhaline* (Microflora and bacterial diseases of Pacific salmon of natural populations and in aquaculture on Sakhalin), Yuzhno-Sakhalinsk: SakhNIRO, 2005.

Gavruseva, T.V., Bochkova, E.V., Sergeenko, N.V., and Ustimenko, E.A., Current state of the health of Pacific salmon (*Oncorhynchus*) in the aquaculture of Kamchatka, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2018, vol. 48, pp. 19–30. doi 10.15853/2072-8212.2018.48.19-30

Gorodilov, Yu.N., *Ranniy ontogenez tikhookeanskikh lososey roda Oncorhynchus. Problemy teorii i praktiki* (Early ontogenesis of Pacific salmon of the genus *Oncorhynchus*. Problems of theory and practice), Murmansk: PINRO, 2009.

Efanov, V.N. and Boyko, A.V., *Ekologicheskiye osobennosti i optimizatsiya usloviy iskusstvennogo vosпроизводства tikhookeanskikh lososey na sovremennykh rybovodnykh zavodakh Sakhalinskoy oblasti* (Environmental special aspects and optimization of an artificial reproduction conditions for Pacific Salmon at the actual fish hatcheries of Sakhalin Region), Yuzhno-Sakhalinsk: Sakhalin. Gos. Univ., 2014.

Zorbidi, J.H., *Kizhuch aziatskikh stad* (Coho salmon of Asian herds), Petropavlovsk-Kamchat-sky: KamchatNIRO, 2010.

Golovina, N.A., Strelkov, Yu.A., Voronin, V.N., Golovin, P.P., Evdokimova, E.B., Yukhimenko, L.N., and Bauer, O.N., *Ikhtiopatologiya* (Ichthyopathology), Moscow: Mir, 2003.

Kanidyev, A.N., Abiotic conditions in spawning mounds of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha* Walbaum), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1967, vol. 61, pp. 94–103.

Kondrateva, L.M., Garetova, L.A., Imranova, E.L., Kirienko, O.A., Chukhlebova, L.M., and Karetnikova, E.A., *Microorganisms in ecosystems of Priamurie*, Vladivostok: Dal'nauka, 2000.

Laboratornyi praktikum po boleznyam ryb (Laboratory Workshop on Fish Diseases), Musselius, V.A., Vanyatinsky, V.F., Vikhman, A.A., et al., eds., Moscow: Legkaya i Pishchevaya Promyshlennost', 1983.

Bergey's Manual of Determinative Bacteriology, Ninth edition, Holt, J.G., Krieg, N.R., Sneath, P.H.A., Staley, J.T., and Williams, S.T., eds., Williams & Wilkins, 1994.

Sadchikov, A.P., Organic matter utilization and destruction in water bodies at different trophic level, *Water Resour.*, 2002, vol. 29, no. 1, pp. 85–89. doi 10.1023/A:1013809510425

Semko, R.S., Stocks of West Kamchatka salmon and their commercial use, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1954, vol. 41, pp. 3–109.

Smirnov, A.I., *Biologiya, razmnozheniye i razvitiye tikhookeanskikh lososei* (Biology, Reproduction, and Development of Pacific Salmon), Moscow: Mosk. Gos. Univ., 1975.

Tarasyuk, E.V., Comparative estimation of results when using different equations describing duration of the development of the coho salmon embryos depending on various temperatures, *Biologiya, sostoyaniye zapasov i usloviya obitaniya gidrobiontov v Sakhalino-Kuril'skom regione i sopredel'nykh akvatoriyakh* (Biology, Status of Stocks, and Condition of Habitat of Aquatic Organisms in the Sakhalin-Kuril Region and Adjacent Waters), *Tr. Sakhalin. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2004, vol. 6, pp. 39–54.

Tarasyuk, E.V. and Tarasyuk, S.N., Assessment of juvenile coho salmon growth rates within different temperature conditions, *Tr. Vseross. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2015, vol. 158, pp. 121–135.

Ustimenko, E.A., Signs bacterial gill disease among fingerling of coho salmon *Oncorhynchus kisutch* (Walbaum) at Viljuskij hatchery (Kamchatka), *Vopr. Rybolov.*, 2006, vol. 7, no. 3, pp. 436–445.

Khovansky, I.E., Physiological and functional aspects of improving the quality of young Pacific salmon grown in fish hatcheries of the Magadan region, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, St. Petersburg, 1992.

Shkurina, Z.K., Polteva, A.V., and Bukina, I.Yu., Bacterial infection of pseudomonas etiology in juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*), in *Tr. Mezhdunar. nauchn. konf. "Rybokhozyaystvennyye issledovaniya Mirovogo okeana"* (Tr. Int. Sci. Conf. "Fisheries research of the World Ocean"), Vladivostok: Dal'rybvuz, 1999, vol. 1, pp. 175–176.

Austin, B. and Austin, D.A., *Bacterial fish pathogens: disease in farmed and wild fish*, Fourth Edition, Berlin: Praxis Publishing Ltd., 2007.

Townsend, L.P. and Cheyne, H., The influence of hydrogen ion concentration on the minimum dissolved oxygen toleration of the silver salmon, *Oncorhynchus kisutch* (Walbaum), *Ecology*, 1944, vol. 25, no. 4, pp. 461–466. doi 10.2307/1932021

Metodicheskiye ukazaniya po sanitarno-bakteriologicheskoy otsenke rybokhozyaystvennykh vodoyemov. (Guidelines for sanitary and bacteriological assessment of fishery water bodies), URL: <https://base.garant.ru/2158924/>. Cited December 04, 2019.

Blue Book 2016. Fish Health Section Blue Book. 2016 Edition / Suggested Procedures For The Detection And Identification Of Certain Finfish And Shellfish Pathogens. URL: <https://units.fisheries.org/fhs/fish-health-section-blue-book-2020>. Cited December 04, 2019.

List of Prokaryotic names with Standing in Nomenclature. <https://lpsn.dsmz.de/>. Cited May 16, 2022.

Prikaz Minsel'khoza Rossii ot 30.01.2015 № 25 (red. ot 25.08.2015) «Ob utverzhdenii Metodiki rascheta ob'yema dobychi (vylova) vodnykh biologicheskikh resursov, neobkhodimogo dlya obespecheniya sokhraneniya vodnykh biologicheskikh resursov i obespecheniya deyatelnosti rybovodnykh khozyaystv, pri osushchestvlenii rybolovstva v tselyakh akvakul'tury (rybovodstva)» (Order of the Ministry of Agriculture of Russia dated 30.01.2015 no. 25 (as amended on 25.08.2015) "On approval of the Methodology for calculating the volume of extraction (catch) of aquatic biological resources necessary to ensure the conservation of aquatic biological resources and ensure the activities of fish farms, when carrying out fisheries for the purposes of aquaculture (fish farming)"). URL: <https://docs.cntd.ru/document/420253563>. Cited December 04, 2022.

Поступила в редакцию 17.05.2024 г.

После доработки 24.06.2024 г.

Принята к публикации 13.09.2024 г.

The article was submitted 17.05.2024; approved after reviewing 24.06.2024; accepted for publication 13.09.2024

Научная статья

УДК 639.64(265.54)

DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-648-658

EDN: RNHZSA



**РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫРАЩИВАНИЯ РАССАДЫ ЛАМИНАРИИ ЯПОНСКОЙ
SACCHARINA JAPONICA В ЦЕНТРЕ МАРИКУЛЬТУРЫ НА О. ПОПОВА
(ЗАЛ. ПЕТРА ВЕЛИКОГО, ЯПОНСКОЕ МОРЕ)**

Т.Н. Крупнова, О.А. Поньрко*

Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

Аннотация. Приведены результаты экспериментального выращивания зооспор, гаметофитов, ювенильных спорофитов и ранней рассады ламинарии японской *Saccharina japonica* в новом Центре марикультуры на о. Попова (ТИНРО). Описано техническое оснащение модулей для культивирования ранних стадий водоросли и указаны условия среды для их оптимального роста. Показано влияние диатомовых водорослей на развитие рассады ламинарии. Установлены оптимальные сроки оспоривания субстратов-рамок для культивирования рассады и время ее пересадки в море на плантации для организации наиболее рационального цикла выращивания товарной ламинарии в форсированном режиме.

Ключевые слова: ламинария японская, гаметофиты, ранний спорофит, условия среды, спороносная ткань

Для цитирования: Крупнова Т.Н., Поньрко О.А. Результаты выращивания рассады ламинарии японской *Saccharina japonica* в Центре марикультуры на о. Попова (зал. Петра Великого, Японское море) // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 3. — С. 648–658. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-648-658. EDN: RNHZSA.

Original article

**Results on growing the seedlings of laminaria *Saccharina japonica*
in the Center of Mariculture on Popov Island (Peter the Great Bay, Japan Sea)**

Tatyana N. Krupnova*, Oksana A. Ponyrko**

*, ** Pacific branch of VNIRO (TINRO), 4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia

* Ph.D., leading researcher, tatyana.krupnova@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0002-8181-5932

** leading specialist, oksana.ponyrko@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0000-7483-7020

Abstract. Results on experimental cultivation of seedlings of laminaria kelp *Saccharina japonica* are considered. Growing of this species was conducted in the first time in the Center of Mariculture located on Popov Island in the coastal Japan Sea. Data on equipment of the modules for cultivation of early stages of algae and on environmental conditions for their optimal growth are presented. Diatoms influence on the growth of kelp seedlings is shown. The optimal dates for seeding the spores on artificial substrate frames and for the frames transplantation into the sea are determined that provides the most rational growing cycle in a forced mode.

* Крупнова Татьяна Николаевна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, tatyana.krupnova@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0002-8181-5932; Поньрко Оксана Андреевна, ведущий специалист, oksana.ponyrko@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0000-7483-7020.

© Крупнова Т.Н., Поньрко О.А., 2024

Keywords: kelp, gametophyte, early sporophyte, environmental conditions, spore-bearing tissue

For citation: Krupnova T.N., Ponyrko O.A. Results on growing the seedlings of laminaria *Saccharina japonica* in the Center of Mariculture on Popov Island (Peter the Great Bay, Japan Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 3, pp. 648–658. (In Russ). DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-648-658. EDN: RNHZSA.

Введение

Основой культивирования бурых водорослей в странах Азиатско-Тихоокеанского региона является получение рассады (проростков) в заводских условиях с последующим доращиванием до товарных размеров на подвесных плантациях в море. В России в настоящее время преимущественно используется более простой метод — в контролируемых условиях производится только оспоривание субстратов (поводцов), после чего они сразу выставляются на морские плантации для дальнейшего выращивания до товарного состояния*.

Применение заводской технологии выращивания жизнестойкой рассады позволяет обеспечить наиболее чувствительным микроскопическим стадиям (зооспорам, гаметофитам и ювенильным спорофитам) оптимальные условия развития по температуре, освещенности, химическому составу среды и водообмену. В результате увеличивается выживаемость и ускоряется развитие проростков, всего за 30–40 сут они достигают размеров, соответствующих размерам 5–6-месячных растений в естественных условиях**.

Использование заводского способа получения рассады совместно с мерами стимуляции развития спороносной ткани маточных слоевищ дает возможность уже осенью высадить рассаду на морские подвесные плантации. В это время в природе ещё происходит выход зооспор из спороносной ткани, а в хозяйствах, использующих технологию культивирования ламинарии в двухгодичном цикле, осуществляется оспоривание субстратов.

Раннее выставление жизнестойкой рассады на подвесные плантации позволяет более эффективно использовать осенне-зимне-весенний период, когда в море отмечаются оптимальные для роста взрослых спорофитов условия (низкая температура воды и повышенное содержание биогенов). В результате ламинария достигает товарного размера уже в возрасте одного года.

Для внедрения технологии заводского получения рассады ламинарии в практику отечественной марикультуры Тихоокеанским филиалом ВНИРО (ТИНРО) в 2020–2022 гг. в Центре марикультуры на о. Попова проведены исследования развития зооспор, гаметофитов и ювенильных спорофитов при разных значениях температуры воды и выявления оптимального размера ранней рассады для высадки в море на плантации.

Материалы и методы

Работы проводились в отделении водорослей Центра марикультуры на о. Попова. Были задействованы 2 бассейна объемом по 3 т каждый, в которых размещались искусственные субстраты. Вода из моря поступала через механический фильтр типа «Ураган» в накопитель-отстойник, после чего через фильтр из мононити с тонкостью очистки 20 мкм подавалась в систему водообеспечения отделения водорослей.

Температура воды регулировалась с помощью чилеров фирмы Clivet (THE WSAN-XEE182), в бассейнах непрерывно осуществлялась циркуляция воды (0,5 л/мин).

* Инструкция по биотехнологии культивирования ламинарии японской в двухгодичном цикле у берегов Приморья / Т.Н. Крупнова. Владивосток: ТИНРО, 1984. 37 с.; Инструкция по биотехнологии культивирования ламинарии японской в двухгодичном цикле / С.К. Буянкина. Владивосток: ТИНРО, 1988. 49 с.

** Инструкция по выращиванию ламинарии японской в двухгодичном цикле с цеховым получением рассады / Т.Н. Крупнова, С.М. Дмитриев. Владивосток: ТИНРО, 1990. 53 с.

Аэрацию в первые три дня не проводили, затем, по мере роста рассады, увеличивали до максимально возможной.

В качестве субстратов использовались металлические рамки размером 60×50 см. На каждую рамку накручивали капроновую нить длиной около 450 м.

Освещение создавалось светодиодными лампами, закрепленными на подвижной раме. Уровень освещения измеряли люксметром. В первые три дня от момента опоривания она составляла около 3000 лк, затем еженедельно увеличивалась на 2000–3000 лк и к концу выращивания достигала 12000 лк. Продолжительность фотопериода составляла 14 ч в сутки (с 7.00 до 21.00 ежесуточно). Для нивелирования затенения субстратов и обеспечения равномерной освещенности рамки ежедневно в одно и то же время переворачивали на 180°.

Подмена воды осуществлялась ежедневно на ¼ объема и полностью — каждые 7 сут. Температуру воды для подмены предварительно доводили до необходимого уровня в отдельных емкостях.

При смене воды рамки переносили в расположенные рядом бассейны с водой такой же температуры во избежание резких перепадов, тормозящих развитие гаметофитов. После смены воды в выростных бассейнах на свежую ее температура доводилась до требуемой величины, вносился питательный раствор, после чего рамки вновь переносились в выростные бассейны.

Оспоривание проводилось согласно разработанной ранее методике* путем помещения простимулированных для массового выхода зооспор маточных слоевищ в бассейны с рамками-субстратами (рис. 1).

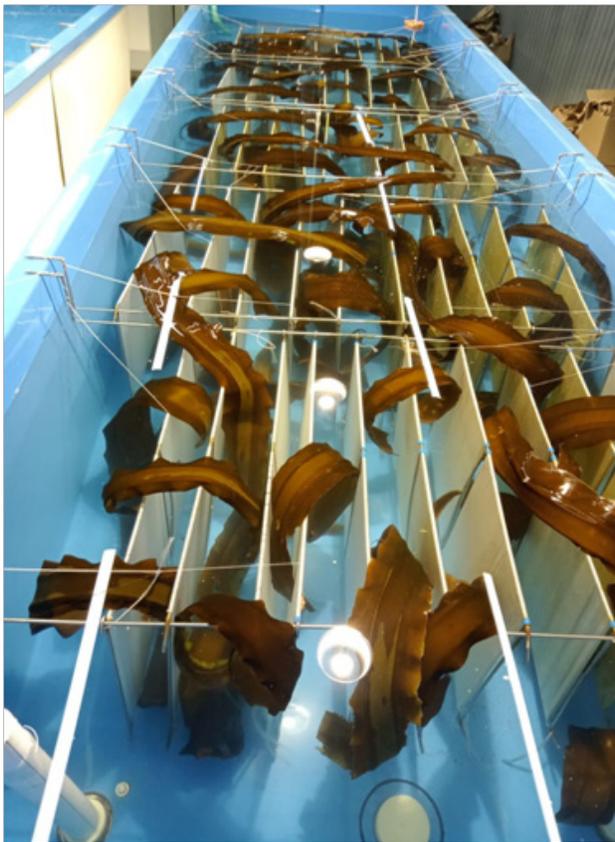


Рис. 1. Оспоривание рамок-субстратов
Fig. 1. Seeding of laminaria spores on artificial substrate frames

* Инструкция по культивированию и восстановлению полей ламинарии / Т.Н. Крупнова. Владивосток: ТИПРО-Центр, 2008. 34 с.

Для контроля развития рассады одновременно оспаривали предметные стекла*. После осаждения зооспор рамки-субстраты перемещали в выростные бассейны, где проводилось культивирование микроскопических стадий — зооспор, гаметофитов — и ранней рассады.

Измерения длины и ширины гаметофитов, ювенильных спорофитов и рассады проводились встроенной линейкой в фотокамеру UCMOSO5100KPA под микроскопом Микромед MC4 Zoom LED. Виды диатомовых водорослей определяли по Синописису и Атласу [Рябушко, Бегун, 2016].

В качестве питательной среды применялась модифицированная среда ESI, которая содержит в первую очередь соли азота, фосфора и ряд солей металлов, не несущих трофической функции, но играющих роль стимуляторов роста ранних стадий водоросли [Пат. РФ № 2767197]. Модификация заключалась в том, что вместо соли Мора была использована мочеви́на в пересчете на равнозначное содержание азота. Питательная среда добавлялась в морскую воду выростного модуля в первый раз на пятый день после оспаривания в разведении 1 : 100, затем один раз в семь дней в разведении 1 : 50.

Для оспаривания субстратов-рамок использовали маточные слоевища, выращенные на подвесной плантации в бухте Рифовой по методике стимулирования созревания спороносной ткани, разработанной на основе результатов собственных исследований, данных, полученных во время посещения водорослевых хозяйств КНДР, Республики Корея, Японии, а также с учетом анализа литературных сведений [Цзен Чен Куй, У Чжао Юань, 1956; Hasegawa, 1976; Крупнова, Подкорытова, 1985; Mizuta et al., 1998].

Температура воды в ходе выращивания поддерживалась в оптимальном для спорофитов ламинарии диапазоне — 12–16 °С. При этом колебания температуры в границах этого диапазона были минимальными. В разные годы температурный режим различался. В 2020–2021 гг. температура воды в ходе выращивания ежедневно постепенно понижалась на 0,1–0,2 °С в сутки — от 16 до 12 °С к концу выращивания. Однако регулировка температуры с такой точностью с использованием имеющегося оборудования оказалась затруднительной. Поэтому в 2022 г. в течение всего процесса (от оседания зооспор и до стадии раннего спорофита) температура воды поддерживалась постоянная — 14 °С.

Результаты и их обсуждение

Стимуляция созревания спороносной ткани. Для эффективного выращивания рассады в цеховых условиях необходимо получить зооспоры в более ранние сроки — к концу августа, тогда как в природных условиях закладка спороносной ткани начинается в начале сентября, а максимального развития она достигает к началу октября. Спорообразование у ламинарии наступает в период приобретения репродуктивной зрелости, которая характеризуется накоплением определенного количества аминокислот, в частности до 2800 мг % глютаминовой кислоты [Крупнова, Подкорытова, 1985]. В природных условиях такое количество аминокислот ламинария образует в конце августа — начале сентября. Однако при выращивании ламинарии в поверхностном слое воды синтез необходимого количества веществ, в частности аминокислот, отвечающих за спорообразование, происходит в более ранние сроки.

Стимуляция созревания спороносной ткани ламинарии осуществляется в несколько этапов. В начале апреля горизонтальный канат с растениями поднимают к поверхности воды, а поводцы с ламинарией размещают «качелями» (оба конца поводца привязаны к горизонтальному канату) для равномерного нахождения слоевищ в условиях повышенной освещенности и притока биогенов.

В поверхностном слое воды происходит наибольшее перемешивание и перемещение водных масс под действием ветра, что обеспечивает наибольший приток био-

* Инструкция... (1990).

генных веществ в единицу времени по сравнению с нижними горизонтами. Также у раздела воды и атмосферы создаются дополнительные источники питательных веществ, приносимых воздушными пузырьками, поднимающимися со дна моря, на стенках которых концентрируются азот, фосфор и углекислый газ [Зайцев, 1979]. Ламинария, выращиваемая у поверхности воды, находится в наиболее благоприятных условиях и к концу мая — началу июня приобретает хорошую массу и физиологическую зрелость.

Для обеспечения свободного доступа биогенных элементов осуществляется разреживание ламинарии, в ходе которого также производится отбор маточных слоевищ. На поводце (длиной 5 м) оставляют 15–20 наиболее крупных слоевищ, имеющих признаки склонности к раннему накоплению аминокислот и раннему спорообразованию — крупные размеры, темный цвет и короткий черешок [Крупнова, 2002].

В весенне-летний период канат поддерживается у поверхности воды за счет привязывания дополнительных плавучестей до достижения температуры воды 18 °С, что обычно отмечается в начале июля.

В начале июля на маточные слоевища в шахматном порядке наносят поперечные надрезы. Это вызывает нарушение характерного для бурых водорослей потока синтезируемых веществ от основания к вершине и способствуют их накоплению (в том числе ответственных за начало спорообразования аминокислот) перед надрезами.

После этого горизонтальный канат с поводцами и находящейся на них ламинарией заглубляют на глубину 8–15 м (в зону пониженной температуры) для предотвращения разрушения слоевищ и создания пониженной освещенности, имитирующей осень.

В результате проведенных мероприятий к концу второй декады августа маточные слоевища в большинстве готовы к выходу зооспор. При этом 70 % растений имеют спороносную ткань с покрытием от 10 до 40 %, в то время как обычные слоевища на плантации еще практически не спороносят. На природных полях в северных районах Приморья (на полигоне в районе от мыса Ватовского до мыса Четырех Скал) в это время спорообразование начинают только 2–3 % слоевищ. Коэффициент покрытия у маточных слоевищ, подвергшихся стимуляции созревания спороносной ткани, равен 0,3, а в северном Приморье таких значений коэффициент достигает только к концу сентября. Слоевища крепкие, темного цвета, без признаков разрушения.

В начале сентября осуществляют отбор и транспортировку маточных слоевищ в Центр марикультуры на о. Попова.

Для оспоривания отбирают наиболее зрелые маточные слоевища ламинарии с развитой спороносной тканью. В момент отбора слоевища на 60–90 % покрыты зрелой спороносной тканью, имеющей VI стадию зрелости (рис. 2).



Рис. 2. Маточные слоевища ламинарии со зрелой спороносной тканью
Fig. 2. Plants of laminaria with mature spore-bearing tissue

Выращивание ранней рассады. Оспоривание субстратов-рамок и выращивание зооспор, гаметофитов и ранней рассады в Центре в 2020 г. продолжалось с 17 сентября по 5 ноября (50 сут). В 2021 г. оспоривание проводилось в два этапа, выращивание осуществлялось с 16 сентября по 27 октября (41 сут) и с 21 сентября по 27 октября (36 сут), в 2022 г. — с 10 сентября до 15 октября (37 сут).

В первые сутки с момента оспоривания, как в 2020 г., так и в 2021–2022 гг., из зооспор образовались проростковые трубки, на 3-й день — гаметофиты, на 5-й — одноклеточные спорофиты, на 7-й — двухклеточные, на 8-й день — однорядные семиклеточные спорофиты, после чего массово начали развиваться многоклеточные спорофиты (рис. 3).

Ко второй декаде октября по достижении спорофитами длины 400 мкм их рост начал происходить по-разному. При постепенном понижении температуры воды (в 2021 г.) рост спорофитов был более активным, и за 5 дней (с 23 по 27 октября) их длина резко увеличилась до 800–1200 мкм. При постоянной же температуре воды (в 2022 г.) за эти 5 дней длина спорофитов увеличилась всего лишь на 100 мкм и составила к 27 октября 500 мкм (2022 г.) (рис. 4).

Влияние температуры воды на развитие ранних микроскопических стадий ламинарии является значимым фактором в ее жизненном цикле. При этом период длительности благоприятной для размножения температуры воды намного короче общего температурного диапазона обитания вида. Как известно, относительная консервативность температуры размножения четко коррелирует с зональным типом ареала. В биогеографической литературе эту эмпирически установленную закономерность именуют правилом Ортона [Кафанов, Кудряшов, 2000]. Диапазон температур для развития зооспор у ламинарии — от 16 до 12 °С — в природных условиях отмечается в сентябре-октябре, когда в море происходит осеннее охлаждение воды. Максимальное развитие репродуктивной спороносной ткани ламинарии на её природных полях приходится на период, когда температура воды благоприятна для развития выходящих из нее зооспор и дальнейшего роста гаметофитов и рассады. Это обеспечивает ежегодную воспроизводимость вида [Крупнова, 2012]. В случае проведения оспоривания субстратов для выращивания ламинарии в двухгодичном цикле на плантациях в море при более высокой или низкой температуре происходит гибель гаметофитов [Крупнова, 2004, 2012]. Именно при таких температурах воды осуществляется выращивание зооспор и гаметофитов до стадии ранней рассады в заводских условиях [Hasegawa, 1971; Lüning, Neushul, 1978; Мальцев, Моисеенко, 1979].

Поддержание оптимального температурного режима позволяет ускорить развитие ранних стадий по сравнению с природой, где происходят резкие перепады температуры, и получить жизнестойкую рассаду в более ранние сроки. Однако выращивание рассады в заводских условиях требует значительных затрат. В связи с этим необходимо найти баланс между продолжительностью выращивания рассады до жизнестойких размеров и минимизацией срока эксплуатации завода.

Эксперименты по культивированию рассады при разных температурных режимах показали, что плавное дозированное снижение температуры воды оказалось предпочтительнее, чем её поддержание на постоянном уровне 14 °С. При постепенном понижении температуры воды рассада растет быстрее, хотя в Центре легче поддерживать постоянную температуру, чем ежедневно проводить ее снижение.

Определение оптимального времени выращивания в заводских условиях тесно связано с изучением как скорости роста рассады, так и оценки ее выживаемости при разных размерах. Оптимальный для переноса в море размер ранней рассады является важным биотехнологическим показателем.

В 2021 г. культивирование рассады от стадии зооспоры проходило в течение 50 сут до достижения ею длины 1500–1800 мкм. При длине 800 мкм и особенно свыше 1000 мкм к 40-м сут культивирования на ювенильных спорофитах и нитях-субстратах

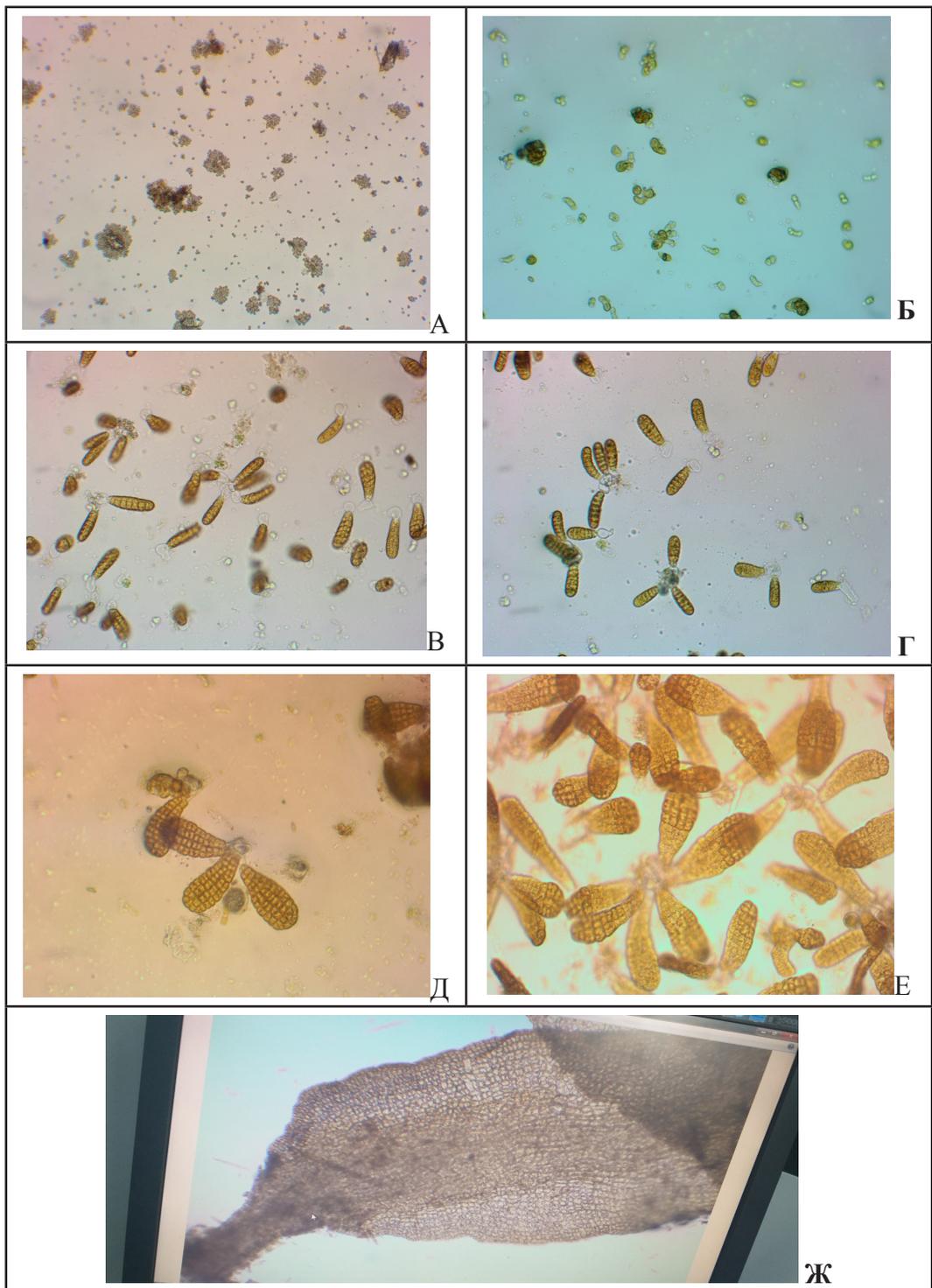


Рис. 3. Стадии развития рассады: А — осевшие зооспоры; Б — зооспоры с проростковыми трубками и гаметофиты; В — однорядные спорофиты; Г — двурядные спорофиты; Д — многоклеточные спорофиты; Е — многоклеточные спорофиты, видимые глазом (рассада); Ж — спорофиты длиной 2 мм

Fig. 3. Stages of laminaria seedlings development: А — settled zoospores; Б — zoospores with germ tubes and gametophytes; В — single-row sporophytes; Г — two-row sporophytes; Д — multicellular sporophytes; Е — Eye-visible multicellular sporophytes (seedlings); Ж — sporophytes 2 mm long

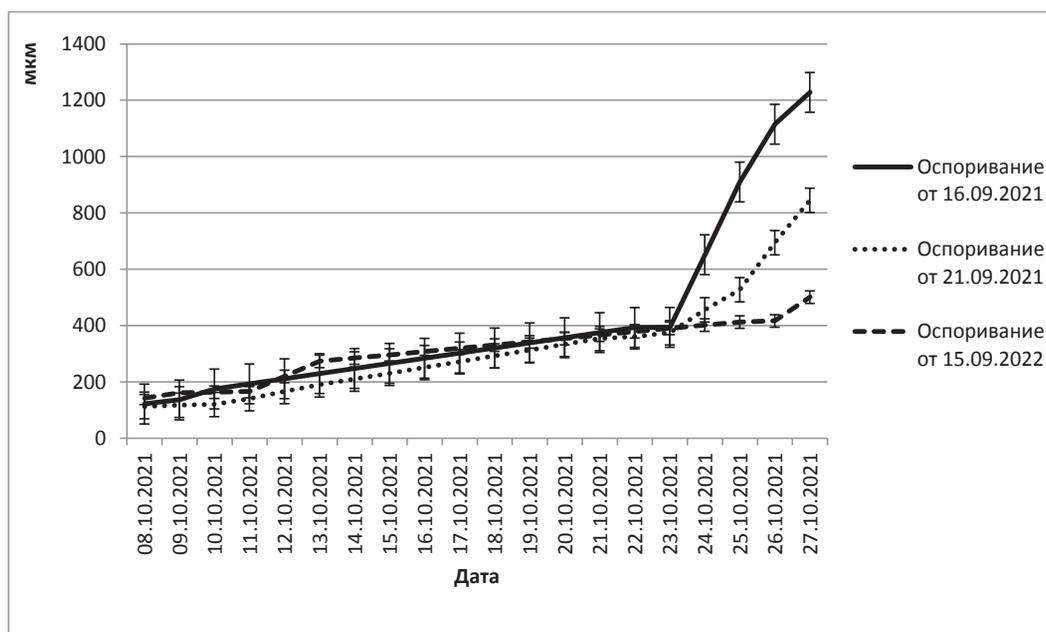


Рис. 4. Рост спорофитов ламинарии в зависимости от режима температуры воды в заводских условиях Центра марикультуры на о. Попова в 2021 г. (плавное понижение от 16 до 12°C) и в 2022 г. (постоянная температуры воды в 14 °C)

Fig. 4. Growth of laminaria sporophytes in dependence on water temperature in artificial conditions of the Center of Mariculture on Popov Island in 2021 (temperature decreased smoothly from 16 to 12°C) and 2022 (constant temperature of 14°C)

начали развиваться диатомовые водоросли, в основном *Tabularia tabulata*, *T. fasciculata*, *Thalassionema nitzschioides*, *Licmophora abbreviate*. К 50-м сут культивирования при длине рассады 1200 мкм практически все ее вершины и сами талломы были покрыты диатомовыми микроводорослями, что вызывало их разрушение (рис. 5)

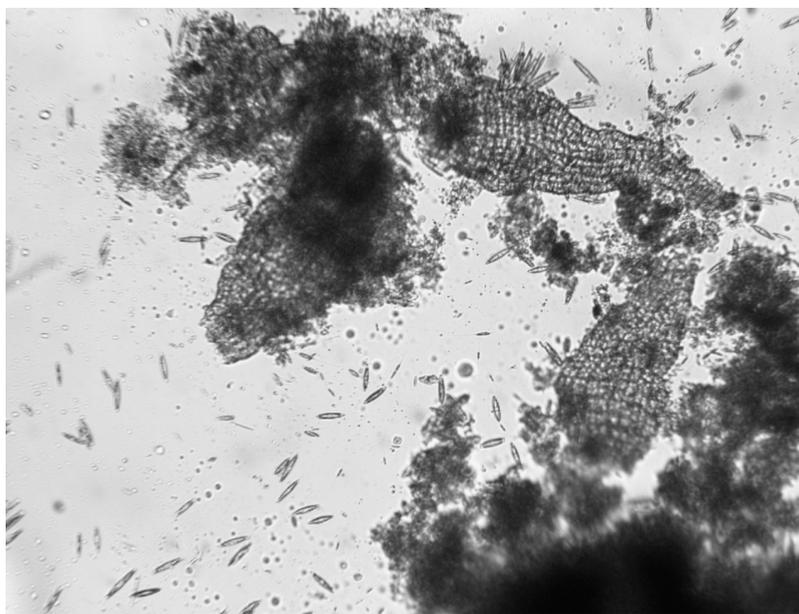


Рис. 5. Диатомовые водоросли на спорофитах ламинарии
Fig. 5. Diatom algae on sporophytes of laminaria

Ранее в пос. Глазковка Приморского края рассада на заводе выращивалась до длины 2000 мкм, что требовало более активной аэрации и повышенного расхода питательных элементов. Также на ювенильные спорофиты длиной более 1000 мкм происходит оседание диатомовых водорослей, которые вызывают разрушение талломов. Результаты пересадки рассады длиной от 500 и до 1800 мкм с завода в море, проводимой ежегодно с 2020 по 2022 г., показали, что рассада длиной около 800 мкм хорошо приживается и в дальнейшем дорастает до товарных размеров. Рассада длиной менее 500 мкм частично погибает. Таким образом, необходимый уровень жизнестойкости рассады может быть достигнут в ходе выращивания в Центре на протяжении не более 35–40 сут до достижения ею длины 800 мкм.

Выводы

Развитие ювенильных спорофитов ламинарии при их культивировании в заводских условиях более активно происходит при плавном понижении температуры воды от 16 до 12 °С (с ежедневным снижением на 0,1–0,2 °С).

Экспериментально показано, что длина заводской ранней рассады 800 мкм является оптимальной для переноса ее на морские плантации. Доращивание рассады в Центре до большей длины, чем 1000 мкм, требует более активной аэрации и повышенного расхода питательной среды. При длине рассады свыше 1000 мкм происходит оседание диатомовых водорослей на вершины ее талломов, что впоследствии приводит к разрушению всего растения. Полученные величины являются одними из важнейших нормативов технологического процесса выращивания рассады ламинарии в заводских условиях.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Выражаем благодарность инженерно-техническому составу Центра марикультуры на о. Попова за обеспечение работы производственного оборудования завода по выращиванию водорослей, а также сотрудникам отдела марикультуры Тихоокеанского филиала ВНИРО (ТИНРО) за помощь в выращивании рассады.

The authors are grateful to engineering and technical staff of the Center of Mariculture on Popov Island for maintenance of the production equipment in the algae growing plant and to colleagues from the Mariculture Department of the Pacific Branch of VNIRO (TINRO) for their assistance in the seedlings growing.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.
The study was not sponsored.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены. Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

All applicable international, national and/or institutional principles for the care and use of animals have been observed. The authors state that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Т.Н. Крупнова — разработка идеи исследования, организация процессов выращивания маточных слоевищ ламинарии и культивирования ее рассады в заводских условиях, обработка экспериментальных материалов и написание статьи. О.А. Понырко — проведение процесса выращивания рассады ламинарии, обработка экспериментальных материалов.

T.N. Krupnova — concept of the research, conducting the growing of mother thalli of laminaria and cultivation the seedlings in artificial conditions, processing the experimental materials, and writing and illustration the text of article. O.A. Ponyrko — conducting the growing of laminaria seedlings and processing the experimental materials.

Список литературы

Зайцев Ю.П. Нейстон — биологический фактор воздействия на свойство воды в зоне гидросфера-атмосфера // Взаимодействие между водой и живым веществом. — М. : Наука, 1979. — С. 21–25.

Кафанов А.И., Кудряшов В.А. Морская биогеография : учеб. пособие. — М. : Наука, 2000. — 176 с.

Крупнова Т.Н. Влияние океанолого-климатических факторов на динамику полей ламинарии японской (*Laminaria japonica* Aresh.) в северной части Японского моря // Гидрометеорология и гидрохимия морей. — Т. 8 : Японское море. — Вып. 2 : Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности. — СПб. : Гидрометеоиздат, 2004. — С. 162–166.

Крупнова Т.Н. Особенности развития споронной ткани у ламинарии японской под воздействием изменяющихся условий среды // Изв. ТИНРО. — 2002. — Т. 130. — С. 474–482.

Крупнова Т.Н. Прогнозирование запасов ламинарии (*Saccharina japonica*) с заблаговременностью в два года // Изв. ТИНРО. — 2012. — Т. 170. — С. 30–44.

Крупнова Т.Н., Подкорытова А.В. Морфобиологические группы *Laminaria japonica* Aresch. и их биохимические особенности // Растит. ресурсы. — 1985. — Т. 21, № 2. — С. 210–215.

Мальцев В.Н., Моисеенко Т.Н. Результаты исследований культивирования ламинарии японской в Приморье // Изв. ТИНРО. — 1979. — Т. 103. — С. 47–54.

Пат. РФ № 2767197 Способ форсированного получения рассады ламинарии (*Saccharina*) японской в заводских условиях / Т.Н. Крупнова, А.В. Буслов, А.А. Байталюк, О.А. Поньрко. Заявл. 04.01.2021; Оpubл. 16.03.2022.

Рябушко Л.И., Бегун А.А. Диатомовые водоросли микрофитобентоса Японского моря : моногр. — Севастополь : КИА, 2016. — Т. 2. — 322 с.

Цзен Чен Куй, У Чжао Юань. Разведение морской капусты и связанные с этим проблемы // Ботан. журн. — 1956. — Т. 41, № 2. — С. 182–192.

Hasegawa Y. Cultivation of laminaria in Japan // Bull. Hokkaido Reg. Fish. Res. Lab. — 1971. — Vol. 37. — P. 46–48.

Hasegawa Y. Progress of Laminaria cultivation in Japan // J. Fish. Res. Bd Canada. — 1976. — Vol. 33. — P. 1002–1006.

Lüning K., Neushul M. Light and temperature demands for growth and reproductions of laminarian gametophytes in southern and central California // Mar. Biol. — 1978. — Vol. 45. — P. 297–309. DOI: 10.1007/BF00391816.

Mizuta H., Hayasaki J., Yamamoto H. Relationship between Nitrogen Content and Sorus Formation in the Brown Alga *Laminaria japonica* Cultivated in Southern Hokkaido, Japan // Fish. Sci. — 1998. — Vol. 64(6). — P. 909–913. DOI: 10.2331/fishsci.64.909.

References

Zaitsev, Yu.P., Neuston — a biological factor influencing the properties of water in the hydrosphere-atmosphere zone, in *Vzaimodeystviye mezhdv vodoy i zhivym veshchestvom* (Interaction between water and living matter), Moscow: Nauka, 1979, pp. 21–25.

Kafanov, A.I. and Kudryashov, V.A., *Morskaya biogeografiya* (Marine biogeography), Moscow: Nauka, 2000.

Krupnova, T.N., The influence of oceanological and climatic facts on the dynamics of fields of Japanese kelp (*Laminaria japonica* Aresh.) in the northern part of the Sea of Japan, in *Gidrometeorologiya i gidrokhimiya morei. T. 8: Yaponskoye more. Vyp. 2: Gidrokhimicheskiye usloviya i okeanologicheskiye osnovy formirovaniya biologicheskoi produktivnosti* (Hydrometeorology and Hydrochemistry of Seas, vol. 8: Sea of Japan, no. 2: Hydrochemical Conditions and Oceanographic Bases of Formation of Biological Productivity), St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 2004, pp. 162–166.

Krupnova, T.N., Peculiarities of Laminaria japonica sporogenous tissue development under the influence of different environmental conditions, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2002, vol. 130, pp. 474–482.

Krupnova, T.N., Forecasting of the laminaria *Saccharina japonica* stock with the lead time of two years, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2012, vol. 170, pp. 30–44.

Krupnova, T.N. and Podkorytova, A.V., Morphobiological groups of *Laminaria japonica* Aresch. and their biochemical features, *Rastitel'nyye resursy*, 1985, vol. 21, no. 2, pp. 210–215.

Maltsev, V.N. and Moiseenko, T.N., Results of investigation of *Laminaria japonica* cultivation in Primorye, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1979, vol. 103, pp. 47–54.

Krupnova, T.N., Buslov, A.V., Baitalyuk, A.A., and Ponyrko, O.A., Patent RU № 2767197, Method for forced production of kelp (*Saccharina*) seedlings in factory conditions, *Izobret., Polezn. Modeli*, 2022.

Ryabushko, L.I. and Begun, A.A., *Diatomoye vodorosli mikrofitobentosa Yaponskogo morya* (Diatoms of the Microphytobenthos of the Sea of Japan), Sevastopol: KIA, 2016, vol. 2.

Zeng Chen Kui and Wu Zhao Yuan, Breeding seaweed and related problems, *Botan. Zh.*, 1956, vol. 41, no. 2, pp. 182–192.

Hasegawa, Y., Cultivation of laminaria in Japan, *Bull. Hokkaido Reg. Fish. Res. Lab.*, 1971, vol. 37, pp. 46–48.

Hasegawa, Y., Progress of *Laminaria* cultivation in Japan, *J. Fish. Res. Bd Canada*, 1976, vol. 33, pp. 1002–1006.

Lüning, K. and Neushul, M., Light and temperature demands for growth and reproduction of laminarian gametophytes in southern and central California, *Mar. Biol.*, 1978, vol. 45, pp. 297–309. doi 10.1007/BF00391816

Mizuta, H., Hayasaki, J., and Yamamoto, H., Relationship between Nitrogen Content and Sorus Formation in the Brown Alga *Laminaria japonica* Cultivated in Southern Hokkaido, Japan, *Fish. Sci.*, 1998, vol. 64, no. 6, pp. 909–913. doi 10.2331/fishsci.64.909

Krupnova, T.N., *Instruktsiya po biotekhnologii kul'tivirovaniya laminarii yaponskoy v dvukhgodichnom tsikle u beregov Primor'ya* (Instructions on biotechnology for cultivating Japanese *Laminaria* in a two-year cycle off the coast of Primorye), Vladivostok: TINRO, 1984.

Buyankina, S.K., *Instruktsiya po biotekhnologii kul'tivirovaniya laminarii yaponskoy v dvukhgodichnom tsikle* (Instructions on biotechnology for cultivating Japanese *Laminaria* in a two-year cycle), Vladivostok: TINRO, 1988.

Krupnova, T.N., *Instruktsiya po kul'tivirovaniyu i vosstanovleniyu poley laminarii* (Instructions for the cultivation and restoration of kelp fields), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2008.

Krupnova, T.N. and Dimitriev, S.M., *Instruktsiya po vyrashchivaniyu laminarii yaponskoy v dvukhgodichnom tsikle s tsekhovym polucheniyem rassady* (Instructions for growing Japanese *Laminaria* in a two-year cycle with workshop production of seedlings), Vladivostok: TINRO, 1990.

Поступила в редакцию 6.06.2024 г.

После доработки 5.08.2024 г.

Принята к публикации 13.09.2024 г.

The article was submitted 6.06.2024; approved after reviewing 5.08.2024;
accepted for publication 13.09.2024

Научная статья

УДК 639.517(470.46)

DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-659-669

EDN: MIEONV

**ОПЫТ ПРУДОВОГО ВЫРАЩИВАНИЯ КРАСНОКЛЕШНЕВОГО РАКА
В АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ****О.В. Пятикопова, И.Н. Бедрицкая, Д.А. Попов, Р.Р. Тангатарова***

Волжско-Каспийский филиал ВНИРО (КаспНИРХ),

414056, г. Астрахань, ул. Савушкина, 1

Аннотация. Рассматриваются результаты исследований прудового выращивания красноклещевого рака. Представлены основные требования к прудам и длительность выращивания в Астраханской области, которая ограничивается прогревом воды (менее 20 °С) и не может превышать 115–125 сут. Определено, что более крупные особи начальной средней массой 2–5 г, культивируемые в течение 90–100 сут, более подходят для получения товарной продукции (средней массой более 40 г). Выявлено, что получение производителей в прудовой аквакультуре целесообразно осуществлять от посадочного материала средней массой 5 г и более. Продолжительность выращивания в этом случае составляет не менее 100 сут.

Ключевые слова: австралийский красноклещевый рак, прудовая аквакультура, выращивание, масса, Астраханская область

Для цитирования: Пятикопова О.В., Бедрицкая И.Н., Попов Д.А., Тангатарова Р.Р. Опыт прудового выращивания красноклещевого рака в Астраханской области // Изв. ТИПРО. — 2024. — Т. 204, вып. 3. — С. 659–669. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-659-669. EDN: MIEONV.

Original article

Experience of pond cultivation for red-clawed crayfish in the Astrakhan Region**Olga V. Pyatikopova*, Irina N. Bedritskaya**, Dmitry A. Popov***,
Ralina R. Tangatarova*******—**** Volga-Caspian branch of VNIRO (CaspNIRKH),
1, Savushkina Str., Astrakhan, 414056, Russia

* Ph.D., head of center, pyatikopovaov@kaspnirh.vniro.ru, ORCID 0000-0003-4974-6623

** Ph.D., head of sector, bedritskayain@kaspnirh.vniro.ru, ORCID 0000-0002-4734-9918

*** leading engineer, popovda@kaspnirh.vniro.ru, ORCID 0009-0002-7491-5134

**** leading specialist, tangatarovarr@kaspnirh.vniro.ru, ORCID 0000-0002-0066-4101

* Пятикопова Ольга Викторовна, кандидат биологических наук, начальник центра, pyatikopovaov@kaspnirh.vniro.ru, ORCID 0000-0003-4974-6623; Бедрицкая Ирина Николаевна, кандидат биологических наук, заведующая сектором, bedritskayain@kaspnirh.vniro.ru, ORCID 0000-0002-4734-9918; Попов Дмитрий Алексеевич, ведущий инженер, popovda@kaspnirh.vniro.ru, ORCID 0009-0002-7491-5134; Тангатарова Ралина Расимовна, ведущий специалист, tangatarovarr@kaspnirh.vniro.ru, ORCID 0000-0002-0066-4101.

© Пятикопова О.В., Бедрицкая И.Н., Попов Д.А., Тангатарова Р.Р., 2024

Abstract. Results of red-clawed crayfish cultivation in pond aquaculture in the Astrakhan Region are presented. Growing of Australian red-claw crayfish *Cherax quadricarinatus* juveniles in ponds with different distribution density and periods of cultivation within the summer-autumn seasons are analyzed and basic requirements for the pond cultivation of this species are determined. The optimal dimensions of pond are the following: area 0.1–0.5 hectares, depth 1.5–2.0 m, V-shaped bottom. Ponds with natural fodder base should be prepared in 20–30 days before placing the crayfish. Artificial fertilization is available for ponds with depleted soil by 3–5 t/ha of manure applied locally in the area of the pond water supply in 20–30 days before the placing. Zooplankton abundance can be increased with input of Cladocera culture, as *Daphnia magna* (Straus 1820), in amount of 100–500 g/ha. Coastal aquatic vegetation should not occupy more than 5 % of the pond area at the beginning of cultivation and 15 % by its end. Duration of juvenile crayfish growing in ponds of the Astrakhan Region is limited by temperature conditions (water temperature > 20 °C is favorable for the growth) and does not exceed 115–125 days depending on the water heating. At least 100 days of growing are necessary for successful harvest. The optimal mean daily temperature of water in ponds for growing and harvesting crayfish is 23–24 °C. Certain conditions and dates of rearing can be chosen to get certain body size of production. Small-sized juveniles with weight below 0.1 g are used for growing to the weight of 40 g in 80–100 days for the purposes of both further cultivation, replenishment of the broodstock, or sale. For producing crayfish with the weight > 40 g, juveniles with larger initial size (2–5 g) should be grown in 90–100 days. The individuals with the weight > 5 g are used as producers of planting material; at least 100 days are necessary for growth to this size. Rearing such individuals in controlled conditions (e.g. in closed water supply installations) allows to obtain the progeny in the fall of current year.

Keywords: Australian red-clawed crayfish, pond aquaculture, rearing, body weight, Astrakhan Region

For citation: Pyatikopova O.V., Bedritskaya I.N., Popov D.A., Tangatarova R.R. Experience of pond cultivation for red-clawed crayfish in the Astrakhan Region, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 3, pp. 659–669. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-659-669. EDN: MIEONV.

Введение

Развитие пресноводной аквакультуры в России в настоящее время происходит в основном в нескольких направлениях: совершенствование методов культивирования традиционных объектов аквакультуры, расширение перечня видов, используемых в товарной аквакультуре, актуализация или разработка технологий их выращивания [Ковачева и др., 2022]. Среди перечисленных направлений развитие производства продукции пресноводных ракообразных с использованием нетрадиционных тропических видов является одним из перспективных.

Один из востребованных объектов в аквакультуре беспозвоночных — это быстрорастущий и быстросозревающий австралийский красноклешневый рак *Cherax quadricarinatus* (АККР). При этом существенной проблемой, препятствующей развитию товарной аквакультуры теплолюбивых ракообразных в России в условиях, приближенных к естественным (пруды), является сезонный ход температуры, обуславливающий относительно кратковременный прогрев водоемов и ограничивающий сроки выращивания. Практически на всей территории страны (за исключением южных районов) культивирование таких видов возможно только в системах с контролируемыми условиями. Данный способ индустриального выращивания в настоящее время популярен, относительно доступен, но и наиболее затратен.

Использование прудов для выращивания раков в течение 3,5 мес. позволяет значительно снизить затраты на получение как посадочного материала, так и товарной продукции [Лагуткина и др., 2019, 2020; Lagutkina et al., 2021; Пятикопова и др., 2022; Пат. РФ № 2709973]. Несмотря на короткие сроки культивирования данных ракообразных, получены достаточно неплохие результаты выращивания раков даже малой начальной массы (менее 1,0 г) до товарной массы (40 г) в прудовой аквакультуре региона [Шокашева, 2017; Лагуткина и др., 2019, 2020; Lagutkina et al., 2021; Пятикопова и др., 2023].

Цель работы — оценить результаты прудового выращивания красноклещевых раков в Астраханской области для получения товарной продукции.

Материалы и методы

Исследования проводились в прудах на НЭКА «БИОС» Волжско-Каспийского филиала ВНИРО (КаспНИРХ) (Астраханская область, Икрянинский район, с. Икряное) в 2021 г. (с III декады июня по III декаду сентября), в 2022 г. (со II декады июня по III декаду сентября) и в прудах, расположенных у р. Обуховской в 800 м северо-восточнее пос. Новинского, Камызякского района Астраханской области в 2023 г. (с I декады июня по II декаду сентября).

Для выращивания раков использовали пруды малой площади 0,1, 0,3, 0,5 га (рис. 1).



Рис. 1. Пруды для выращивания молоди раков
Fig. 1. Ponds for rearing juvenile crayfish

Строение дна пруда имело V-образный профиль в поперечном сечении с уклонами для слива воды, что позволяет по окончании процесса выращивания проводить дружный слив воды и концентрацию объектов аквакультуры в рыбосборной канаве (<https://www.gidroburo.ru/>).

Перед заливом прудов прошлогоднюю высшую водную растительность удаляли. Подачу воды осуществляли через рыбосороуловитель. Молодая высшая водная растительность располагалась в прибрежной части прудов. Заращаемость ложа за период культивирования изменялась от 5 до 15 %.

Пруды заливали на глубину 50–70 см через рыбосороуловитель не менее чем за 20–30 сут до размещения туда раков с целью прогрева воды и создания естественной кормовой базы. После внесения в пруды посадочного материала во избежание резкого снижения температуры воды уровень постепенно поднимали до 1,5 м. Для спуска воды использовали гидротехнические сооружения (типа «монах»), оснащенные заградительными решетками.

В момент размещения раков в пруды среднесуточная температура воды достигла 24 °С. Посадка раков в пруды, расположенные в Астраханской области, и их изъятие при данной температуре позволяют культивировать теплолюбивых ракообразных в течение 115–125 сут [Пятикопова и др., 2022]. В этом случае при переводе молоди из контролируемых условий, например установка замкнутого водообеспечения (УЗВ), в пруды необходимо учитывать разницу температур, которая должна составлять в среднем не более 3 °С. Однако наиболее подходящая температура перевода раков в пруды — 23–24 °С. Это позволяет снизить температурный стресс при переводе молоди из искусственных условий (например УЗВ), где раки содержатся в этот период в близких температурных условиях (24–25 °С).

Длительность выращивания молоди АККР в прудах Астраханской области ограничивается прогревом воды (менее 20 °С) и не может превышать 4 мес. (III декада мая — III декада сентября).

Требования к температурным условиям и срокам прудового культивирования АККР приведены в табл. 1.

Таблица 1

Требования к температурным условиям и срокам культивирования красноклешневых раков в прудах Астраханской области

Table 1

Requirements to temperature conditions and terms for cultivation of red-clawed crayfish in ponds of the Astrakhan Region

Параметр	Значения
Минимально возможная среднесуточная температура воды прудов при посадке и изъятии раков, °С	20
Максимально возможная продолжительность выращивания, сут	115–125 (в зависимости от температурных особенностей года)
Оптимальная среднесуточная температура воды прудов при посадке и изъятии раков, °С	23–24
Оптимальная положительность выращивания, сут	100

Раков культивировали с использованием уже сформированной и развивающейся естественной кормовой базы без дополнительного кормления. Кормовые потребности в прудах могут удовлетворять не только представители зоопланктона и зообентоса, но и детрит и макрофиты, часто составляющие 70 % потребляемой пищи [Воробьева и др., 2024].

Для создания естественной кормовой базы органические удобрения (например навоз) вносились в районе водоподачи не менее чем за 20–30 сут до залития в количестве 3–5 т/га [Попов и др., 2023]

С целью увеличения численности зоопланктона после залития вносили культуру ветвистоусых ракообразных *Daphnia magna* Straus 1820 в количестве 100–500 г/га [Инструкция..., 1984*; Воробьева и др., 2023].

Отлов раков в конце периода выращивания осуществляли методом полного спуска прудов и дальнейшим сохранением слабой водоподачи для создания тока воды на дне с целью концентрации раков. Сбор АККР в этом случае осуществляли вручную у водоподачи, на спуске и по ложу пруда. Также для вылова раков (как вариант АККР) в прудах можно использовать раколовки, установленные на водоспуске, с приманкой (рис. 2).



Рис. 2. Отловленные раки (а, б), раколовка (в)
Fig. 2. Caught crayfish (а, б); crayfish trap (в)

Для установки раколовки водоподачу полностью перекрывали и облов осуществляли при постепенном снижении уровня воды.

Исходные данные при выращивании австралийского красноклешневого рака в прудовой аквакультуре за период 2021–2023 гг. представлены в табл. 2.

При проведении научных исследований использовали рыбоводно-биологические методы. Массовые характеристики особей в ходе работ определяли с использованием электронных весов (НТ-300) с точностью до 0,01 г.

* Инструкция по повышению естественной кормовой базы выростных прудов путем интродукции дафнии magna. М.: ВНИИПРХ, 1984. 2-е изд., доп. и перераб. 12 с.

Таблица 2

Исходные данные при выращивании австралийского красноклещевого рака в прудовой аквакультуре Астраханской области за период 2021–2023 гг.

Table 2

Parameters of Australian red-clawed crayfish cultivation in ponds of the Astrakhan Region in 2021–2023

Показатель	M(±σ)					
	Начальная масса, г	0,2(±0,1)	1,0(±0,4)	2,0(±1,2)	5,0(±3,1)	5,0(±2,9)
Площадь пруда, га	0,1	0,3	0,1	0,1	0,5	0,1
Плотность посадки, экз./га	10000	3000	2000	5000	4000	1500
Период выращивания, сут	100	90	90	60	100	90

Примечание. M — среднее значение.

Результаты и их обсуждение

За период 2021–2022 гг. проведены исследования культивирования красноклещевых раков различной начальной массой (0,17–8,0 г) в прудовой аквакультуре региона в условиях различных плотностей посадки (1,5–15,0 тыс. экз./га) и сроков культивирования (60–100 сут) [Пятикопова и др., 2022–2024] (рис. 3).



Рис. 3. Неотсортированная молодь АККР, выращенная в УЗВ (а), выпуск отсортированной молоди АККР различной навески (б, в)

Fig. 3. Unsorted juveniles of Australian red-clawed crayfish reared in closed water supply installations (a); harvested crayfish of different weight (б, в)

Среди рассматриваемых групп — 0,17 и 0,20 г — определенный интерес вызывает выращивание ранней молоди малой начальной массы с целью получения товарной продукции (табл. 3).

Таблица 3

Выращивание молоди раков массой менее 1 г в прудовой аквакультуре

Table 3

Results of growing juvenile crayfish to the weight < 1 g in pond aquaculture

Показатель	Значение	
	Группа 1	Группа 2
Средняя масса особей в начале эксперимента, г	0,17(±0,1)	0,20(±0,1)
Средняя масса особей в конце эксперимента, г	17,3(±9,2)	36,5(±11,0)
Плотность посадки, тыс. экз./га	15	10
Выживаемость, %	56,5	84,7
Продолжительность выращивания, сут	80	100
Возраст в начале эксперимента, сут	10	20
Выход общей продукции, кг/га	147,0	309,2
Количество особей массой до 40 г в конце эксперимента, %	91,6	55,8
Количество особей массой более 40 г в конце эксперимента, %	8,4	44,2

Несмотря на близкие массовые характеристики особей, посаженных в пруды, средняя масса раков в конце эксперимента во втором варианте была практически в 2 раза

выше, чем в первом. Выживаемость во втором варианте также была выше (в 1,5 раза). Более высокие значения показателей во втором варианте обусловлены длительным периодом выращивания (на 20 сут), меньшей плотностью посадки (в 1,5 раза), возрастом особей, посаженных на эксперимент (в среднем старше на 10 сут).

Значительные различия в группах отмечены по окончании эксперимента и при выделении доли раков товарной массой 40–60 г. В первом варианте среди раков, изъятых из пруда, таких особей было минимальное количество — 8,4 %, в то время как во второй группе число раков товарной массы составляло 44,2 %, т.е. если посадочным материалом служит ранняя молодь в возрасте 7–10 сут, выращиваемая в течение 2,5 мес., то по окончании культивирования в прудах будут получены раки, которых можно использовать только в качестве дальнейшего выращивания в контролируемых условиях. В случае, когда возраст молоди при посадке в пруды будет достигать не менее 3 недель, а продолжительность выращивания составит не менее 100 сут, среди изъятых из пруда особей может встречаться достаточное количество раков (более 40 %) как товарной массы, подлежащих реализации или служащих для пополнения ремонтных стад, так и более мелких особей, которых можно использовать для последующего выращивания в контролируемых условиях.

Для уточнения особенностей выращивания АККР были проведены экспериментальные исследования по культивированию молоди массой 1 (группа 1) и 2 г (группа 2) (табл. 4).

Таблица 4
 Результаты выращивания молоди раков массой 1 и 2 г в прудовой аквакультуре
 Table 4
 Results of growing juvenile crayfish to the weight 1 g and 2 g in pond aquaculture

Показатель	Значение	
	Группа 1	Группа 2
Средняя масса особей в начале эксперимента, г	1,0(±0,4)	2,0(±1,2)
Средняя масса особей в конце эксперимента, г	53,6(±16,2)	71,1(±25,7)
Плотность посадки, тыс. экз./га	3,0	1,5
Выживаемость, %	82,7	78,7
Продолжительность выращивания, сут	90	90
Возраст в начале эксперимента, сут	52	75
Выход общей продукции, кг/га	147,7	111,6
Количество особей массой до 40 г в конце эксперимента, %	72,9	2,4
Количество особей массой более 40 г в конце эксперимента, %	27,1	97,6

В рассматриваемых группах раков с близкой начальной средней массой и одинаковой продолжительностью выращивания отмечен сходный процент выживаемости (около 80 %). При этом выход общей продукции в первой группе был выше (на 24 %), несмотря на более высокую плотность посадки (в 2 раза).

Существенные различия зарегистрированы в результате сортировки по массовым характеристикам после изъятия раков из пруда. Так, в группе начальной средней массой 1 г по окончании эксперимента преобладали мелкие особи, в то время как в группе начальной средней массой 2 г — раки товарной массой 40 г и более. Если рассматривать возможность дальнейшего использования раков, то в первом случае большую часть изъятых из пруда раков возможно использовать в качестве дальнейшего выращивания в контролируемых условиях, во втором — преимущественное большинство особей, достигших товарной массы 40 г и более, пригодно для их реализации на рынке.

Также в 2023 г. повторно был осуществлен эксперимент по выращиванию молоди АККР начальной массой 5 г, но с разной плотностью посадки — 5 (группа 1) и 4 тыс. экз. га (группа 2), проведенный годом ранее в других условиях (табл. 5).

Среди исследуемых групп раков, выращиваемых в условиях различных плотностей посадки и существенно различающихся от сроков культивирования, наибольшая выживаемость, средняя масса особей в конце эксперимента и выход общей продукции

Таблица 5
 Результаты выращивания молоди раков массой 5 г в прудовой аквакультуре
 Table 5
 Results of growing juvenile crayfish to the weight 5 g in pond aquaculture

Показатель	Значение	
	Группа 1	Группа 2
Средняя масса особей в начале эксперимента, г	5,0(±3,1)	5,0(±2,9)
Средняя масса особей в конце эксперимента, г	32,5(±14,4)	82,4(±26,5)
Плотность посадки, тыс. экз./га	5,0	4,0
Выживаемость, %	68,4	88,2
Продолжительность выращивания, сут	60	100
Возраст в начале эксперимента, сут	105	98
Выход общей продукции, кг/га	111,2	290,6
Количество особей массой до 40 г в конце эксперимента, %	65,1	28,5
Количество особей массой более 40 г в конце эксперимента, %	34,9	71,5

зарегистрированы во второй группе раков. Это обусловлено как более низкой плотностью посадки (на 20 %) по сравнению с первым вариантом, так и продолжительностью выращивания молоди АККР (дольше на 40 сут). Также на достаточно высокие массовые характеристики раков во втором случае с большой долей вероятности повлияло лучшее состояние пруда (низкий дренаж, слабое развитие высшей водной растительности в толще воды), в то время как в первом варианте в период культивирования в пруду было отмечено массовое развитие нитчатых зеленых водорослей *Hydrodictyon reticulatum* и *Cladophora* sp., занимающих до 30 % площади [Воробьева и др., 2024].

В результате выращивания молоди начальной массой 5 г в первой группе преобладали особи, не достигшие 40 г (65 %), которых возможно использовать для пополнения ремонтно-маточных стад на хозяйствах, занимающихся ракоразведением. Третью часть (35 %) от общего количества раков, изъятых из пруда, составляли особи товарной массы более 40 г.

Во второй группе, напротив, большинство особей (72 %) можно было использовать для реализации товарной продукции. В среднем раки были достаточно крупными — 82,4 г. Около 30 % особей не достигли товарной массы 40 г.

При выращивании раков начальной средней массой 8 г в течение 90 сут и в условиях низкой плотности посадки 1500 экз./га почти все особи (98,8 %) в конце эксперимента достигли товарной массы 40 г (табл. 6).

Таблица 6
 Результаты выращивания молоди раков массой 8 г в прудовой аквакультуре
 Table 6
 Results of growing juvenile crayfish to the weight 8 g in pond aquaculture

Показатель	Значение
Средняя масса особей в начале эксперимента, г	8,0(±3,3)
Средняя масса особей в конце эксперимента, г	72,4(±22,6)
Плотность посадки, тыс. экз./га	1,5
Выживаемость, %	82,7
Продолжительность выращивания, сут	90
Возраст в начале эксперимента, сут	120
Выход общей продукции, кг/га	89,8
Количество особей массой до 40 г в конце эксперимента, %	1,2
Количество особей массой 40–60 г в конце эксперимента, %	24,4
Количество особей массой более 60 г в конце эксперимента, %	74,4

Данный вариант выращивания красноклещевых раков в прудовой аквакультуре обеспечивает получение в конце сезона не только преимущественного большинства раков средней товарной массой 40 г, но и свыше 70 % раков массой 60 г и более.

В целом по окончании прудового выращивания было определено, что в группе ранней молоди с начальной средней массой 0,17 г количество особей с отсутствием половых признаков составляло 2,6 % общего количества раков, изъятых из пруда. У остальных особей данной группы и в других рассматриваемых группах произошло разделение по половым признакам. Соотношение полов в среднем составляло 1 : 1. В группах раков с исходной массой 5 и 8 г (возраст по окончании эксперимента 5,5 и 7,0 мес.) зарегистрировано до 10 % яйценосных самок и самок с развивающейся молодью (рис. 4).



Рис. 4. Яйценосные самки (а, б, в) и самка с развивающейся молодью (г) на плеоподах по окончании прудового выращивания

Fig. 4. Oviparous females (a, b, v) and female with developing juveniles on pleopods (g) at the end of pond rearing

Дальнейшее содержание таких особей в контролируемых условиях, например в УЗВ, позволит получить молодь уже осенью текущего года.

По результатам выращивания одноразмерных групп раков в прудах получены биотехнические показатели, позволяющие формировать в зависимости от поставленных задач и планируемых сроков культивирования различные варианты (табл. 7).

Таблица 7
Варианты выращивания красноклешневых раков в прудовой аквакультуре Астраханской области

Table 7
Options for growing red-clawed crayfish in pond aquaculture in the Astrakhan Region

Условия и приоритеты	Средняя масса посадочного материала, г		
	До 1 включительно	2–5	5–8
Продолжительность выращивания, сут	80–100	90–100	100
Цель	Получение раков средней массой до 40 г	Получение раков товарной массой более 40 г	Получение производителей
Задача	Обновление и пополнение собственного ремонтно-маточного стада*		
	Выращивание на собственном хозяйстве для дальнейшей реализации*	Реализация на рынке	Раннее (осеннее) получение молоди на собственном хозяйстве*
	Поставка для других раководческих хозяйств		

* В контролируемых условиях.

По результатам прудового выращивания австралийских раков в прудах Астраханской области определено, что среди рассматриваемых вариантов культивирования молоди АККР максимальный выход продукции с единицы площади получен при наибольшем сроке прудового выращивания 3,3 мес. (100 сут).

Заключение

Оценка результатов прудового выращивания красноклешневого рака в Астраханской области на естественной кормовой базе позволила определить, что особи начальной средней массой 2–5 г, культивируемые в течение 90–100 сут, более подходят для получения товарной продукции (средней массой более 40 г). Получение

производителей в прудовой аквакультуре целесообразно осуществлять от посадочного материала средней массой 5 г и более. Продолжительность выращивания в этом случае составляет не менее 100 сут.

Полученные результаты могут послужить основными технологическими и биотехническими показателями выращивания красноклещевых раков в прудовой аквакультуре и основой для технологической инструкции при организации раководческих хозяйств.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают благодарность главному инженеру научно-экспериментального центра аквакультуры НЭКА «БИОС» С.В. Иванову за техническое сопровождение при организации прудового выращивания объекта.

The authors are grateful to S.V. Ivanov, the chief engineer of the Scientific and Experimental Center of Aquaculture BIOS, for technical support in pond cultivation of crayfish.

Финансирование работы (FUNDING)

Научно-исследовательская работа выполнена в соответствии с государственным заданием № 076-00004-23-01 на 2023 г. по научному направлению «Прикладное научное исследование» ФГБНУ «ВНИРО» Рег. № НИОКТР 123060900021-8.

The study was carried out in accordance with the State task № 076-00004-23-01 for 2023 “Applied scientific research” to the Russian Res. Inst. of Fisheries and Oceanography (VNIRO), reg. № 123060900021-8.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

All applicable international, national and/or institutional guidelines for the care and use of animals were followed.

The authors declare that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Концепция исследования — О.В. Пятикопова, И.Н. Бедрицкая; сбор и обработка материала — Д.А. Попов, Р.Р. Тангатарова; статистическая обработка — Р.Р. Тангатарова; написание текста — И.Н. Бедрицкая; редактирование — О.В. Пятикопова.

Research concept — O.V. Pyatikopova and I.N. Bedritskaya; collection and processing of materials — D.A. Popov and R.R. Tangatarova; statistical data processing — R.R. Tangatarova; the text writing and illustrating — I.N. Bedritskaya; the article editing — O.V. Pyatikopova.

Список литературы

Воробьева Л.В., Борисов Р.Р., Ковачева Н.П. Сообщества зоопланктона и зообентоса искусственных прудов для разведения австралийского красноклещевого рака на территории Астраханской области // Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов : 11-я нац. науч. конф. — Калининград : КГТУ, 2023. — С. 29–40.

Воробьева Л.В., Борисов Р.Р., Ковачева Н.П., Пятикопова О.В. Пищевой спектр австралийского красноклещевого рака *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) (Decapoda, Parastacidae) в прудах Астраханской области // Рос. журн. биол. инвазий. — 2024. — Т. 17, № 1. — С. 8–22. DOI: 10.35885/1996-1499-17-1-08-22.

Ковачева Н.П., Жигин А.В., Борисов Р.Р., Никонова И.Н. Современные тенденции развития аквакультуры ракообразных в России // Актуальные вопросы пресноводной аквакультуры : сб. науч. тр. — Астрахань : ИП Сорокин Роман Васильевич, 2022. — Т. 93. — С. 69–80.

Лагуткина Л.Ю., Кузьмина Е.Г., Ахмеджанова А.Б. и др. Фактологическое обеспечение практики повышения эффективности выращивания тропических пресноводных видов // Вестн. АГТУ. Сер. Рыб. хоз-во. — 2020. — № 2. — С. 94–105. DOI: 10.24143/2073-5529-2020-2-94-105.

Лагуткина Л.Ю., Кузьмина Е.Г., Бирюкова М.Г., Першина Е.В. Биопродуктивность прудов VI рыболовной зоны // Вестн. АГТУ. Сер. Рыб. хоз-во. — 2019. — № 4. — С. 87–94. DOI: 10.24143/2073-5529-2019-4-87-94.

Пат. РФ № 2709973. МПК А01К 61/00 (2006.01). Способ товарного выращивания тропических видов в прудовой поликультуре / А.И. Хорошко, В.Н. Крючков. — Заявл. 30.10.2017; Опубликовано. 23.12.2019; Бюл. № 36.

Попов Д.А., Ясинский В.С., Лагуткина Л.Ю. Выращивание австралийских раков в прудовых условиях Астраханской области // Мат-лы 67-й междунар. науч. конф. — Астрахань: АГТУ, 2023. — С. 728–731.

Пятикопова О.В., Анкешева Б.М., Тангатарова Р.Р., Бедрицкая И.Н. Гидрохимические условия выращивания австралийского красноклещевого рака (*Cherax quadricarinatus*) в Астраханской области // Водные биоресурсы и среда обитания. — 2022. — Т. 5, № 3. — С. 32–47. DOI: 10.47921/2619-1024_2022_5_3_32.

Пятикопова О.В., Бедрицкая И.Н., Попов Д.А. Выращивание молоди красноклещевого рака в прудах Астраханской области // Высш. шк.: научные исследования: мат-лы Междуз. междунар. конгресса. — М.: Инфинити, 2024. — Т. 2. — С. 119–126. DOI: 10.34660/INF.2024.88.64.064.

Пятикопова О.В., Бедрицкая И.Н., Тангатарова Р.Р., Анкешева Б.М. Биотехнические показатели товарного выращивания красноклещевого рака в прудовой аквакультуре в условиях юга России // Вестн. АГТУ. Сер. Рыб. хоз-во. — 2023. — № 4. — С. 72–82. DOI: 10.24143/2073-5529-2023-4-72-82.

Шокашева Д.И. Прудовое выращивание австралийского красноклещевого рака в условиях Астраханской области // Вестн. рыбохоз. науки. — 2017. — Т. 4, № 4(16). — С. 14–18.

Лагуткина Л., Rozhkova P., Evgrafova E. et al. On the issue of Australian crayfish cultivation in ponds to ensure sustainable aquaculture development // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. — 2021. — Vol. 937. — P. 032030. DOI: 10.1088/1755-1315/937/3/032030.

References

Vorobyova, L.V., Borisov, R.R., and Kovacheva, N.P., Communities of zooplankton and zoobenthos of artificial ponds for breeding Australian red-clawed crayfish in the Astrakhan region, in 11th Nat. Sci. Conf. “Aquatic bioresources, aquaculture and ecology of water reservoirs”, Kaliningrad: Kaliningrad. Gos. Tekh. Univ., 2023, pp. 29–40.

Vorob'eva, L.V., Borisov, R.R., Kovacheva, N.P., and Pyatikopova, O.V., Food spectrum of the australian red claw crayfish *Cherax quadricarinatus* (Von martens, 1868) (Decapoda, Parastacidae) in the ponds of the Astrakhan region, *Ros. zhurn. biol. invaziy*, 2024, vol. 17, no. 1, pp. 8–22. doi 10.35885/1996-1499-17-1-08-22

Kovacheva, N.P., Zhigin, A.V., Borisov, R.R., and Nikonova, I.N., Current trends in the development of aquaculture of crustaceans in Russia, in *Sb. nauch. tr. "Aktual'nyye voprosy presnovodnoy akvakul'tury"* (Collect. Sci. Works “Current issues in freshwater aquaculture”), Astrakhan': IP Sorokin Roman Vasil'yevich, 2022, vol. 93, pp. 69–80.

Лагуткина, Л.Ю., Кузьмина, Е.Г., Ахмеджанова, А.Б., Таранина, А.А., and Ясинский, В.С., Ponomarev, R.A., Providing factual support for efficient techniques of breeding tropical freshwater, *Vestnik Astrakh. Gos. Tekh. Univ., Ser. Ryb. khoz-vo*, 2020, no. 2, pp. 94–105. doi 10.24143/2073-5529-2020-2-94-105

Лагуткина, Л.Ю., Кузьмина, Е.Г., Бирюкова, М.Г., and Першина, Е.В., Bioproductivity of ponds of vi fish breeding zone, *Vestnik Astrakh. Gos. Tekh. Univ., Ser. Ryb. khoz-vo*, 2019, no. 4, pp. 87–94. doi 10.24143/2073-5529-2019-4-87-94

Khoroshko, A.I. and Kryuchkov, V.N., RF Patent no. 2709973, IPC A01K 61/00 (2006.01), Method rearing of tropical species in pond polyculture, *Byul.*, 2019, no. 36.

Попов, Д.А., Ясинский, В.С., and Лагуткина, Л.Ю., Cultivation of Australian crayfish in pond conditions of the Astrakhan region, in *Mater. 67-y mezhhdunar. nauch. konf.* (Materials of the 67th Int. Sci. Conf.), Astrakhan: Astrakh. Gos. Tekh. Univ., 2023, pp. 728–731.

Pyatikopova, O.V., Ankesheva, B.M., Tangatarova, R.R., and Bedritskaya, I.N., Hydrochemical conditions for growing the Australian red-clawed crayfish (*Cherax quadricarinatus*) in the Astrakhan region, *Vodnyye bioresursy i sreda obitaniya*, 2022, vol. 5, no. 3, pp. 32–47. doi 10.47921/2619-1024_2022_5_3_32

Pyatikopova, O.V., Bedritskaya, I.N., and Popov, D.A., Rearing of juvenile red-clawed crayfish in ponds of the Astrakhan, in *Mater. Mezhvuz. mezhdunar. kongressa "Vyssh. shk.: nauchnyye issledovaniya"* (Materials Interuniversity. intl. congress), Moscow: Infinity, 2024, vol. 2, pp. 119–126. doi 10.34660/INF.2024.88.64.064

Pyatikopova, O.V., Bedritskaya, I.N., Tangatarova, R.R., and Ankesheva, B.M., Otechnical indicators of red-clawed crayfish commercial cultivation in pond aquaculture in the conditions of the south of Russia, *Vestnik Astrakh. Gos. Tekh. Univ., Ser. Ryb. khoz-vo*, 2023, no. 4, pp. 72–82. doi 10.24143/2073-5529-2023-4-72-82

Shokasheva, D.I., Breeding of Australian red claw crayfish in ponds of Astrakhan region, *Vestnik rybokhozyaystvennoi nauki*, 2017, vol. 4, no. 4(16), pp. 14–18.

Lagutkina, L., Rozhkova, P., Evgrafova, E., Grozesku, Yu., Ponomarev, S., and Babajanyan, A., On the issue of Australian crayfish cultivation in ponds to ensure sustainable aquaculture development, *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 2021, vol. 937, pp. 032030. doi 10.1088/1755-1315/937/3/032030

Instruktsiya po povysheniyu kormovoy bazy vyrostnykh prudov putem introduktsii dafnii magna (Instructions for increasing the food supply of nursery ponds by introducing *Daphnia magna*), Moscow: Vses. Nauchno-Issled. Inst. Presnovodn. Rybn. Khoz., 1984.

Gidrotekhnicheskoye byuro (Hydrotechnical Bureau). <https://www.gidroburo.ru>. Cited December 3, 2024.

Поступила в редакцию 25.04.2024 г.

После доработки 21.06.2024 г.

Принята к публикации 13.09.2024 г.

The article was submitted 25.04.2024; approved after reviewing 21.06.2024; accepted for publication 13.09.2024

Научная статья

УДК 639.313

DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-670-682

EDN: SFRNOV



ОСОБЕННОСТИ УСЛОВИЙ САДКОВОГО РЫБОВОДСТВА АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ НА ПРИМЕРЕ Р. ХУРДУН

О.В. Пятикопова, И.Н. Бедрицкая, С.А. Дьякова, Д.А. Попов, О.Г. Тарасова,
Е.В. Макарова, Е.В. Минакова, О.В. Жаткина, Р.Д. Кашин*

Волжско-Каспийский филиал ВНИРО (КаспНИРХ),
414056, г. Астрахань, ул. Савушкина, 1

Аннотация. Выявлены особенности садкового рыбководства в Астраханской области и определено состояние водного объекта (р. Хурдун) в местах расположения действующих рыбководных хозяйств. В ходе исследований использовали гидрологические, химические, биологические методы. Установлено, что ряд параметров среды характеризуют ситуацию на отдельных участках исследуемого водного объекта как напряженную, особенно в период летнего прогрева воды и осенью. Ухудшение гидролого-гидрохимического режима на фоне роста температуры воды и снижения скорости течения в период летне-осенней межени является сигналом для корректировки плотностей посадки и норм кормления выращиваемых объектов аквакультуры на действующих хозяйствах и обуславливает обязательные исследования в этот период на этапе планирования организации садковых рыбководных хозяйств.

Ключевые слова: садковое хозяйство, объекты аквакультуры, гидролого-гидрохимический режим, токсикологические и санитарно-микробиологические параметры

Для цитирования: Пятикопова О.В., Бедрицкая И.Н., Дьякова С.А., Попов Д.А., Тарасова О.Г., Макарова Е.В., Минакова Е.В., Жаткина О.В., Кашин Р.Д. Особенности условий садкового рыбководства Астраханской области на примере р. Хурдун // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 3. — С. 670–682. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-670-682. EDN: SFRNOV.

* Пятикопова Ольга Викторовна, кандидат биологических наук, начальник центра, pyatikopovaov@kaspnirh.vniro.ru, ORCID 0000-0003-4974-6623; Бедрицкая Ирина Николаевна, кандидат биологических наук, заведующая сектором, bedritskayain@kaspnirh.vniro.ru, ORCID 0000-0002-4734-9918; Дьякова Светлана Александровна, старший специалист, dyakovasa@kaspnirh.vniro.ru, ORCID 0000-0001-9970-403X; Попов Дмитрий Алексеевич, ведущий инженер, popovda@kaspnirh.vniro.ru, ORCID 0009-0002-7491-5134; Тарасова Ольга Георгиевна, старший специалист, tarasovaog@kaspnirh.vniro.ru, ORCID 0009-0001-7283-6144; Макарова Елена Викторовна, старший специалист, makarovaev@kaspnirh.vniro.ru, ORCID 0009-0005-9183-3896; Минакова Елена Владимировна, главный специалист, minakovaev@kaspnirh.vniro.ru, ORCID 0009-0009-6671-6064; Жаткина Ольга Вячеславовна, ведущий специалист, zhatkinaov@kaspnirh.vniro.ru, ORCID 0009-0006-7805-6292; Кашин Роман Дмитриевич, старший специалист, kashinrd@kaspnirh.vniro.ru, ORCID 0009-0007-1632-6370.

Features of environments for cage fish farming in the Astrakhan Region on example of the Khurdun River

Olga V. Pyatikopova*¹, Irina N. Bedritskaya*², Svetlana A. Diakova*³,
Dmitry A. Popov*⁴, Olga G. Tarasova*⁵, Elena V. Makarova*⁶,
Elena V. Minakova*⁷, Olga V. Zhatkina*⁸, Roman D. Kashin*⁹

*¹⁻⁹ Volga-Caspian branch of VNIRO (CaspNIRKH),
1, Savushkin Street, Astrakhan, 414056, Russia

*¹ Ph.D., head of center, pyatikopovaov@kaspnirh.vniro.ru, ORCID 0000-0003-4974-6623

*² Ph.D., head of sector, bedritskayain@kaspnirh.vniro.ru, ORCID 0000-0002-4734-9918

*³ senior specialist, dyakovasa@kaspnirh.vniro.ru, ORCID 0000-0001-9970-403X

*⁴ leading engineer, popovda@kaspnirh.vniro.ru, ORCID 0009-0002-7491-5134

*⁵ senior specialist, tarasovaog@kaspnirh.vniro.ru, ORCID 0009-0001-7283-6144

*⁶ senior specialist, makarovaev@kaspnirh.vniro.ru, ORCID 0009-0005-9183-3896

*⁷ chief specialist, minakovaev@kaspnirh.vniro.ru, ORCID 0009-0009-6671-6064

*⁸ leading specialist, zhatkinaov@kaspnirh.vniro.ru, ORCID 0009-0006-7805-6292

*⁹ senior specialist kashindr@kaspnirh.vniro.ru, ORCID 0009-0007-1632-6370

Abstract. Cage aquaculture is a relatively low-cost and quite effective method of fish farming, particularly important for the Astrakhan Region in recent times. Sturgeon species are grown in the farms there mainly. The most favorable conditions for cage aquaculture are provided in flowing water of both natural and anthropogenic nature. Features of environments for cage fish farming are considered for several operating fish farms at the Khurdun River that is rather demanded for these enterprises due to accessibility to roads, proximity of settlements and so suitability for the farm servicing and selling the products. However, the river is rather impacted to anthropogenic activity, including pollutions from the fish farming itself. Standard methods of hydrology, chemistry and biology were used. The fish farms at Khurdun River were differed in their production capacity and the volume of aquaculture production, though the depth of the cage lines installation was sufficient for the fish growing everywhere. The flow velocity was rather slow and decreased at cages of the most farms relative to the background value. Dissolved oxygen content in water was quite high, but great vertical differences were observed in summer, with supersaturation at the water surface and oxygen consumption for oxidation of organics at the river bottom. The value of chemical oxygen consumption exceeded the norm both at the surface and at the bottom and increased downstream. By taxonomic composition of bioindicator benthic organisms, the studied water body was classified to categories from “clean” to “very dirty”. Some deterioration of environmental quality downstream from the cage lines was detected relative to background values. Sanitary and microbiological tests of water revealed an exceeding of the total microbial count at 22 °C relative to this one at 37 °C in all seasons, that is a sign of water self-purification worsening. Faecal pollution of the river water was found and confirmed by a presence of *Enterococcus faecalis* in abnormal concentration, in particular in summer-autumn low-water season. In general, environmental conditions in some sites of the Khurdun River can be considered as tense in the summer-fall season by a number of parameters. Deterioration of environmental regime in conditions of rising temperature and slowing flow in the summer-fall low-water season should be accounted for adjustment of planting density and feeding of farmed fish.

Keywords: cage farming, aquaculture facility, hydrological regime, chemical regime, toxicological parameters, sanitary-microbiological parameters

For citation: Pyatikopova O.V., Bedritskaya I.N., Diakova S.A., Popov D.A., Tarasova O.G., Makarova E.V., Minakova E.V., Zhatkina O.V., Kashin R.D. Features of environments for cage fish farming in the Astrakhan Region on example of the Khurdun River, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 3, pp. 670–682. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-670-682. EDN: SFRNOV.

Введение

В настоящее время в Астраханской области садковая аквакультура приобретает особую значимость для региона, являясь относительно малозатратным и достаточно эффективным методом рыбоводства. В садковых рыбоводных хозяйствах области выращивают в

основном осетровые виды рыб. Деятельность хозяйств связана преимущественно с получением пищевой икры, мяса рыб и реже рыбопосадочного материала.

Наиболее благоприятные условия для садкового содержания рыбы создаются в проточных водоёмах [Магомаев, 2007; Шишкин, Загребина, 2010]. При этом русловые проточные водоёмы имеют свои характерные особенности, как положительные, так и негативные. Так, на водотоках с нестабильным гидрологическим режимом могут возникать определенные риски при разведении рыбы в садках. Данная проблема касается в первую очередь водотоков Астраханской области, гидрологический режим которых во многом определяется изменением уровня воды в р. Волге. Как правило, колебания водного слоя носят хронический характер, а в ряде случаев амплитуда колебаний имеет аномальные или экстремальные значения [Поляков и др., 2016; Поляков, Конькова, 2017]. Кроме этого, прослеживается уменьшение долевого стока по основным магистральным водотокам [Синенко, Гурболикова, 2012], а в водотоках низовьев Волги отмечено усиление органического загрязнения [Карыгина и др., 2017]. Класс качества вод, определяемый методом биоиндикации (бентосные организмы), может изменяться от слабозагрязненных до загрязненных [Зайцев, Тарасова, 2014].

В свою очередь функционирование рыбоводных хозяйств накладывает определенный отпечаток на качество водной среды как в районе собственной деятельности, так и ниже по течению. Воздействие на природную среду может усиливаться в период летней межени, когда температура воды достигает своих максимальных значений. На отдельных хозяйствах, а также вплоть до 500 м ниже по течению летом может снижаться концентрация кислорода в придонном слое, увеличиваться содержание органического вещества, нитритного, нитратного и аммонийного азота. Изменения гидрохимических показателей могут привести к формированию условий для развития сине-зеленого комплекса фитопланктона, характеризующего развитие эвтрофикационных процессов и ухудшение качества воды [Астафьева, 2016]. Однако по данным В.В. Вятчина с соавторами [2020] некоторые садковые хозяйства, расположенные на р. Волге, по ряду гидрохимических показателей в период исследований не оказывали негативного влияния на водоток.

Таким образом, при размещении садковых хозяйств необходимо учитывать не только влияние условий среды на рыб, но и реакцию экосистемы на использование водоёма для садкового выращивания рыбы [Магомаев, 2007; Астафьева, 2016].

Цель настоящей работы — выявить особенности садкового рыбоводства и определить состояние водного объекта в местах расположения действующих рыбоводных хозяйств.

Материалы и методы

Для определения состояния водной среды в районах выращивания объектов товарной аквакультуры был выбран водный объект рыбохозяйственного значения — участок протекания р. Хурдун, где организованы рыбоводные хозяйства индустриального типа (садковые).

Исследование проводили в районе размещения 4 садковых линий: в 500 м выше по течению от первой садковой линии (фон), в 500 м ниже по течению от последней садковой линии, до и после каждой садковой линии. Количество точек отбора на р. Хурдун — 9.

В ходе выполнения работы использовали гидрологические, химические и биологические методы, включающие:

— гидролого-гидрохимические исследования с определением скорости течения (измеритель скорости водного потока ИСВП-ГР-21М1) и глубины водного объекта (эхолот Lowrance Elite-5 DSI, ручной лот), а также температуры воды (<https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293736/4293736072.htm>), водородного показателя pH (<https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293730/4293730055.htm>) в местах отбора проб;

— отбор пробы воды (поверхностный, придонный горизонты) и донных отложений для гидрохимических, токсикологических (ГОСТ 17.1.5.04-81, ГОСТ 70282-2022, ГОСТ 59024-2020, ГОСТ 17.1.5.01-80), гидробиологических [Романова, 1983] и санитарно-микробиологических исследований (ГОСТ 31942-2012 (ИСО 19458:2006); ГОСТ 17.4.4.02-2017);

— обработку проб воды в лабораторных условиях в соответствии с общепринятыми методиками и нормативной документацией для определения абсолютного и относительного содержания растворенного кислорода (<https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293726/4293726785.htm>), перманганатной окисляемости (ГОСТ Р 55684-2013), химического потребления кислорода (<https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293751/4293751545.htm?ysclid=lj2ow7rzy4456972095>), нитритов (<https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293739/4293739151.htm>), аммонийного азота (<https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293850/4293850892.htm>), взвешенных веществ (<https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293751/4293751544.htm>); анионных поверхностно-активных веществ (<https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293808/4293808613.htm>), нефтепродуктов (<https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293770/4293770987.htm>), токсичности с использованием планктонных ракообразных *Daphnia magna* (ГОСТ Р 56236-2014 (ИСО 6341:2012)); общего количества колиформных бактерий (ОКБ), общего микробного числа (ОМЧ) при 22 и 37 °С, наиболее вероятного числа (НВЧ) энтерококков (<https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293851/4293851827.htm>);

— обработку проб донных отложений в лабораторных условиях в соответствии с общепринятыми методиками и нормативной документацией для определения биотических индексов [Вудивисс, 1977; Насибулина, 1995; Количественная гидроэкология..., 2005] методом биоиндикации на основе видового состава бентосных организмов [Жадин, 1933; Плавильщиков, 1950; Определитель насекомых..., 1976; Определитель пресноводных беспозвоночных..., 1977; Определитель зоопланктона и зообентоса..., 2016]; ОКБ, ОМЧ при 22 и 37 °С, индекса энтерококков (фекальных) (<https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293737/4293737876.htm?ysclid=lj2n646rel370453027>).

Для оценки качества водной среды использовали нормативы, разработанные для водных объектов рыбохозяйственного значения (ПДК_{рх}) (<https://docs.cntd.ru/document/420389120>), воды поверхностных водоисточников (СанПиН 1.2.3685-21), природных поверхностных вод (ГОСТ Р 56236-2014) и значения биотического индекса [Вудивисс, 1977] для определения степени органического загрязнения.

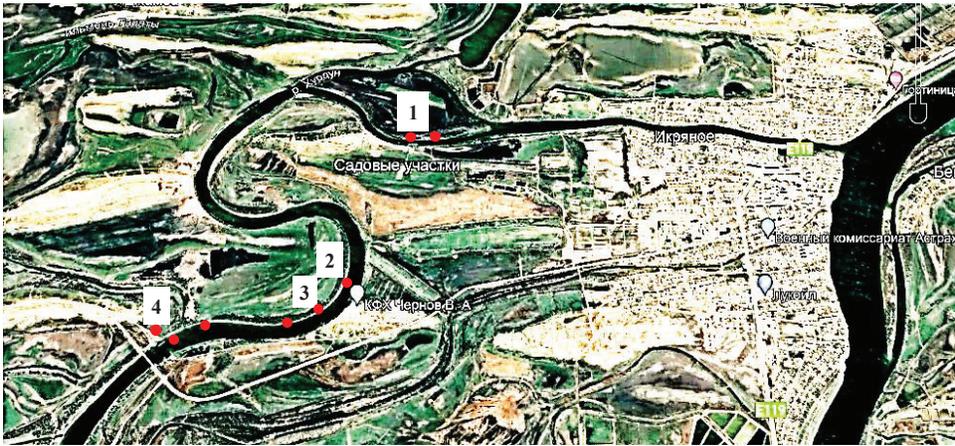
Результаты и их обсуждение

Краткая характеристика исследуемого участка водного объекта

Протяженность исследуемого участка на р. Хурдун (7,0 км) составляет 35 % длины водотока. Русло реки на рассматриваемой территории не прямое, имеющее резкие изгибы. Ближайший населенный пункт — с. Икрыное, расположенное на расстоянии 1,7 км выше по течению.

В настоящее время на р. Хурдун находятся 8 рыбоводных участков (РВУ), на четырех из которых функционируют садковые хозяйства. Остальные РВУ могут быть задействованы для организации новых объектов рыбоводства в ближайшее время (см. рисунок).

Первое из рассматриваемых хозяйств функционирует дольше остальных, является наиболее крупным и располагается в 1,5 км ниже по течению от населенного пункта (с. Икрыное). В 4,5 км ниже, за крупной излучиной, находятся 2 садковых хозяйства на расстоянии 220 м друг от друга, с близкими значениями задействованных рыбоводных площадей. Четвертое садковое хозяйство размещено у противоположного берега реки в 1,2 км ниже по течению, среди исследуемых хозяйств отличается меньшей общей площадью рыбоводных садков и периодом эксплуатации (табл. 1).



Карта-схема расположения рыбоводных участков (●) на р. Хурдун и действующих на них хозяйств (1, 2, 3, 4)

Scheme of fish breeding grounds (●) and operating fish farms (1, 2, 3, 4) on the Khurdun River

Таблица 1

Основные характеристики рассматриваемых рыбоводных хозяйств

Table 1

Main parameters of the fish farms under consideration

Характеристика	Садковые хозяйства			
	1	2	3	4
Площадь рыбоводного участка, га	2,0	1,2	1,0	0,8
Ширина садковой линии, м	12,2	18,0	21,0	12,0
Длина садковой линии, м	250,0	50,0	70,0	75,0
Количество садков на хозяйстве, шт.	64	40	24	29
Общая площадь садков, м ²	1152	640	576	464
Расчетный минимальный объем объектов аквакультуры, подлежащих разведению на рыбоводном участке, т*	6,30	3,78	3,15	2,52
Расчетный объем (биомасса) объектов аквакультуры, т**	16,8	9,6	8,6	7,0
Продолжительность функционирования, годы	8	6	5	3
Расстояние до следующего хозяйства, км	4,5	0,2	1,2	—

* Приказ МСХ РФ от 15.03.17 г. № 124, п. 10, прил. 2 (<https://docs.cntd.ru/document/420396544?ysclid=lj2po5lz2v302941454>).

** С учетом рыбоводной площади хозяйства и средней плотности посадки 15,0 кг/м².

Согласно данным, предоставленным Волго-Каспийским территориальным управлением Росрыболовства, на хозяйстве № 1 содержат осетра русского *Acipenser gueldenstaedtii*, белугу *Huso huso*, стерлядь *Acipenser ruthenus*, шипа *A. nudiiventris*; на хозяйстве № 2 — те же виды и гибрид белуги и стерляди — бестера *Acipenser nikoljukin*; на хозяйстве № 3 — стерлядь, веслоноса *Polyodon spathula*, бестера; на хозяйстве № 4 — осетра русского и сибирского *Acipenser baerii*, белугу, стерлядь, шипа, гибриды русского и сибирского осетра, стерляди и белуги (стербел), бестера.

Гидрологические исследования водного объекта

Глубина в самой верхней точке исследований (фон) в весенне-летний период составляла 2,0 м, осенью — 4,0 м. Вниз по течению она увеличивалась до 7,0–8,0 м. Глубина водотока в районе расположения садковых линий была достаточной для функционирования садковых хозяйств (не менее 3,5 м).

Рассматриваемый район характеризовался низкими скоростями течения (менее 0,15 м/с) вплоть до 0,0 м/с (особенно в придонном горизонте). Отмечено снижение

скорости движения водных масс после садков большинства хозяйств относительно зарегистрированных значений в самой верхней точке исследований (фон). Исключение составлял четвертый РВУ, где локально в весенне-летний период регистрировали более высокие значения скорости течения по сравнению с участком, расположенным выше по течению (табл. 2).

Таблица 2

Сезонное изменение глубины и скорости течения р. Хурдун в районе размещения садковых рыбоводных хозяйств

Table 2

Seasonal variation in depth and flow velocity along the Khurdun River

Место исследования	Горизонт отбора проб								
	Дно			Поверхностный			Придонный		
	Весна	Лето	Осень	Весна	Лето	Осень	Весна	Лето	Осень
	Глубина, м			Скорость течения, м/с					
500 м выше по течению (фон)	2,5	2,0	4,0	0,12	0,06	0,11	0,12	0,06	0,04
После 1-го хозяйства	4,5	4,0	5,0	0,04	0,04	0,07	0,00	0,00	0,00
До 2-го хозяйства	4,5	6,0	7,5	0,03	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00
После 2-го хозяйства	4,5	6,5	6,5	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,04
До 3-го хозяйства	8,5	6,5	7,5	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
После 3-го хозяйства	8,0	7,5	8,0	0,03	0,03	0,02	0,00	0,00	0,03
До 4-го хозяйства	4,0	5,0	6,0	0,15	0,15	0,02	0,08	0,08	0,03
После 4-го хозяйства	3,5	4,2	4,0	0,16	0,00	0,07	0,10	0,37	0,09
500 м ниже по течению	7,0	8,0	5,2	0,06	0,03	0,08	0,00	0,04	0,13

Температура воды соответствовала сезону исследований. Реакция среды была слабощелочной (7,3–8,8). Содержание взвешенных веществ в придонном горизонте преимущественно было выше, чем у поверхности (в среднем в 1,5 раза), достигая в летний период максимальных значений (31,0–34,4 мг/дм³).

Гидрохимические исследования водного объекта

Содержание растворенного кислорода в воде в среднем было достаточно высоким, характеризуя удовлетворительные условия для жизнедеятельности гидробионтов. Наибольшие различия по горизонтам отмечены в летний период — 12,1–13,9 мг/дм³, 150–171 % (поверхность) и 6,0–11,9 мг/дм³, 69–136 % (дно) — и свидетельствуют о перенасыщении воды в поверхностном горизонте в период массового развития фитопланктона и большем потреблении кислорода в придонном горизонте на окисление органических веществ (табл. 3).

Наибольшие значения перманганатной окисляемости зарегистрированы весной (7,2–9,6 мгО/дм³), со снижением к осени практически в 2 раза (3,2–4,0 мгО/дм³).

Значения химического потребления кислорода были выше норматива для поверхностных вод (в 1,1–1,9 раза) с максимальными значениями в конце рассматриваемого участка как в поверхностном, так и придонном горизонте (табл. 4).

Концентрации нитритов в период половодья не превышали ПДК_{рх} (0,02 мг/дм³ в пересчете на азот) с увеличением (до 0,03 мг/дм³) летом и осенью. Содержание аммонийного азота преимущественно находилось в пределах норматива для водных объектов рыбохозяйственного значения (0,5 мг/дм³). Превышение ПДК_{рх} отмечено летом (в 1,8 раза) и осенью (в 1,5 раза) в придонном горизонте в 500 м ниже по течению от садковых линий.

Токсикологические исследования водного объекта

По результатам биотестирования качество воды на большинстве точек и донных отложений на всем протяжении участка оценено как нетоксичное.

Таблица 3
Сезонное изменение содержания растворенного кислорода в воде р. Хурдун в районе размещения садковых рыбоводных хозяйств

Table 3
Seasonal variation of dissolved oxygen content along the Khurdun River

Место исследования	O ₂ , мг/дм ³						O ₂ , %					
	Горизонт отбора проб											
	Поверхностный			Придонный			Поверхностный			Придонный		
	Весна	Лето	Осень	Весна	Лето	Осень	Весна	Лето	Осень	Весна	Лето	Осень
500 м выше по течению (фон)	13,0	12,8	9,1	12,5	11,9	9,2	113	156	99,6	108	136	99,2
После 1-го хозяйства	12,3	12,1	9,1	13,1	8,4	9,2	107	147	98,9	114	99	99,1
До 2-го хозяйства	12,3	12,5	9,1	12,2	9,2	9,2	108	146	99,2	106	102	99,0
После 2-го хозяйства	13,0	12,7	9,1	12,7	10,0	9,1	115	152	98,8	111	118	98,7
До 3-го хозяйства	13,1	12,6	9,1	12,5	9,7	9,8	117	155	99,4	109	113	98,6
После 3-го хозяйства	13,6	13,9	9,1	12,5	9,8	9,1	121	171	98,9	108	116	106,6
До 4-го хозяйства	12,7	13,2	9,2	12,0	9,2	9,2	113	161	98,5	107	107	99,6
После 4-го хозяйства	13,1	12,1	9,1	12,5	6,0	9,1	117	147	98,8	111	69	99,5
500 м ниже по течению	13,0	12,9	9,1	12,6	11,4	9,1	116	150	102,4	112	129	102,4
ПДК _{рх} *	Не менее 6,0						–					

* Приказ МСХ РФ от 13.12.2016 г. № 552 (<https://docs.cntd.ru/document/420389120>).

Таблица 4
Сезонное изменение химического потребления кислорода в воде р. Хурдун в районе размещения садковых рыбоводных хозяйств, мгО/дм³

Table 4
Seasonal variation of chemical oxygen demand in the water of Khurdun River, mgO/L

Место исследования	Горизонт отбора проб					
	Поверхностный			Придонный		
	Весна	Лето	Осень	Весна	Лето	Осень
500 м выше по течению (фон)	21	18	16	22	28	31
После 1-го хозяйства	23	21	12	23	32	18
До 2-го хозяйства	27	21	15	27	29	20
После 2-го хозяйства	27	20	16	27	18	16
До 3-го хозяйства	23	12	13	23	26	25
После 3-го хозяйства	19	29	11	19	12	12
До 4-го хозяйства	25	25	15	23	17	32
После 4-го хозяйства	27	18	32	27	18	30
500 м ниже по течению	29	24	32	28	35	30
Норматив для поверхностных вод*	Менее 15,0					

* СанПиН 1.2.3685-21.

Анализ видового состава биоиндикаторных бентосных организмов позволил отнести исследуемые воды к разным категориям — от «чистые воды» до «очень грязные». При этом полученные данные характеризовали воду уже до первого хозяйства (фон) как «умеренно загрязненную» (весна, осень) и «загрязненную» (лето), подтверждая литературные данные об относительно невысоком качестве природных вод Астраханской области [Карыгина и др., 2017]. Учитывая достаточно близкое расположение населенного пункта выше по течению (1,7 км), с большой долей вероятности можно утверждать, что рассматриваемый участок водотока находится в зоне антропогенного воздействия.

Что касается нагрузки на водоток со стороны рыбоводства, то отмечено ухудшение качества среды в период половодья после садковых линий относительно входящей

на хозяйства воды. Летом и осенью подобных фактов не зарегистрировано. Если сравнивать степень загрязнения водотока в конце исследуемого участка (после всех функционирующих хозяйств) относительно фоновых значений, то зарегистрировано ухудшение качества вод независимо от сезона исследований (максимально в летнюю межень) (табл. 5).

Таблица 5
Сезонное изменение биотического индекса р. Хурдун в районе размещения садковых
рыбоводных хозяйств, мгО/дм³

Table 5

Seasonal change of biotic index along the Khurdun River, mgO/L

Место исследования	Весна	Лето	Осень
500 м выше по течению (фон)	5	4	5
После 1-го садкового хозяйства	1	3	3
До 2-го садкового хозяйства	3	2	3
После 2-го садкового хозяйства	3	3	3
До 3-го садкового хозяйства	7	2	1
После 3-го садкового хозяйства	3	4	1
До 4-го садкового хозяйства	7	4	1
После 4-го садкового хозяйства	1	2	7
500 м ниже по течению	3	2	3

Примечание. Биотический индекс, характеризующий степень загрязненности воды: очень чистые — 10; чистые — 7–9; умеренно загрязненные — 5–6; загрязненные — 4; грязные — 2–3; очень грязные — 0–1 [Вудивисс, 1977].

Значительное воздействие на качество среды водного объекта весной оказывало первое хозяйство с наибольшей, среди исследованных, рыбоводной площадью, второе — в летне-осенний период, образуя застойную зону на фоне низких скоростей течения перед следующим хозяйством, расположенным на 200 м ниже по течению, и четвертое хозяйство, на противоположном берегу реки в самом конце рассматриваемого участка, — в весенне-летний период (табл. 5).

Значения анионных поверхностно-активных веществ и нефтепродуктов находились в пределах ПДК_{рх} (соответственно 0,10 и 0,05 мг/дм³).

Санитарно-микробиологические исследования водного объекта

Санитарно-микробиологические исследования воды показали, что ОМЧ 22 °С в воде ежесезонно превышало ОМЧ 37 °С в 1,5–2,0 раза, свидетельствуя о снижении процесса самоочищения вод. Наличие фекального загрязнения вод подтверждало содержание в воде ОКБ (до 2400 КОЕ/100 см³) и НВЧ энтерококков (до 2400 КОЕ/100 см³), что превышало нормативный показатель для воды поверхностных водных объектов. В весенний период фекальное загрязнение отмечено после 1-й садковой линии, до 2-й садковой линии и после всех садковых хозяйств ниже по течению. Летом и осенью регистрировали интенсификацию фекального загрязнения (табл. 6).

Сезонные изменения значений общего микробного числа носили разнонаправленный характер. При этом во всех точках отбора различие между ОМЧ 22 и ОМЧ 37 °С было минимально, что указывает на антропогенную нагрузку на водоем. Фекальное загрязнение воды отмечали ежесезонно на различных участках водотока, направленной динамики содержания в воде ОКБ и энтерококков не определено.

В донных отложениях ОМЧ составляло 0,03–18,20 млн КОЕ/г. Численность ОКБ, в том числе *Escherichia coli* (10–1000 КОЕ/г), в совокупности с количеством энтерококков (1–100 КОЕ/г) свидетельствует о наличии фекального загрязнения донных отложений во все периоды исследований.

Таблица 6

Сезонное изменение микробиологических показателей воды р. Хурдун в районе размещения садковых рыбоводных хозяйств

Table 6

Seasonal variation of microbiological indicators along the Khurdun River

Место исследования	Горизонт отбора проб											
	Поверхностный			Придонный			Поверхностный			Придонный		
	Весна	Лето	Осень	Весна	Лето	Осень	Весна	Лето	Осень	Весна	Лето	Осень
	ОМЧ 22 °С, тыс. КОЕ/мл						ОМЧ 37 °С, тыс. КОЕ/мл					
500 м выше по течению (фон)	1,34	13,0	0,68	1,06	11,0	3,56	0,10	4,0	0,84	0,05	1,0	3,06
После 1-го хозяйства	1,49	12,0	2,64	5,04	11,0	0,59	0,31	4,0	1,47	3,20	19,0	0,55
До 2-го хозяйства	2,40	2,0	0,67	5,60	23,0	7,68	0,21	1,0	0,33	1,14	13,0	2,16
После 2-го хозяйства	1,24	5,0	2,07	0,49	8,0	16,96	0,25	1,0	3,48	0,07	4,0	1,66
До 3-го хозяйства	0,25	7,0	0,56	1,20	4,0	0,45	0,13	3,0	0,53	2,44	3,0	0,35
После 3-го хозяйства	1,22	4,0	3,06	1,32	83,0	2,74	0,13	1,0	0,51	0,34	31,0	1,49
До 4-го хозяйства	1,23	4,0	1,43	1,12	16,0	3,24	0,44	4,0	0,78	0,76	11,0	3,22
После 4-го хозяйства	1,42	1,0	2,16	1,16	30,0	1,89	0,16	3,0	1,13	1,10	15,0	1,45
500 м ниже по течению	0,64	3,0	2,17	7,52	25,0	1,48	0,17	1,0	1,34	16,40	12,0	0,86
	ОКБ, КОЕ/100 см ³						НВЧ, КОЕ энтерококков/100 см ³					
500 м выше по течению (фон)	240	240	240	240	240	240	23	9	240	23	0	95
После 1-го хозяйства	240	240	2400	240	23	2400	23	0	23	240	19	2400
До 2-го хозяйства	240	240	95	240	23	2400	23	0	2400	23	23	2400
После 2-го хозяйства	240	23	2400	2400	2400	2400	23	0	2400	23	23	2400
До 3-го хозяйства	23	95	95	240	2400	240	0	0	2400	2400	23	95
После 3-го хозяйства	240	240	240	240	2400	2400	240	0	2400	23	0	240
До 4-го хозяйства	23	23	23	240	23	23	23	0	23	23	0	2400
После 4-го хозяйства	240	23	2400	23	240	2400	23	0	9	240	0	0
500 м ниже по течению	23	23	2400	240	2400	240	23	240	23	2400	23	0
Норматив, не более*	1000						100					

* СанПиН 1.2.3685-21.

Закключение

Исследуемый район р. Хурдун востребован для организации садковых рыбоводных хозяйств, где определяющими являются скорее логистические моменты, чем благоприятные условия для выращивания объектов аквакультуры.

По результатам натурных исследований выявлены такие гидрологические особенности водотока, как снижение скорости движения водных масс в течение года, значительное изменение уровня воды. Территориальная близость населенного пункта и локализации большинства РВУ в нижней трети рассматриваемого района водного объекта обуславливают относительно сильное воздействие как антропогенного характера, так и со стороны рыбоводства, снижающее качество водной среды.

Определено, что ряд параметров характеризовали ситуацию на отдельных участках исследуемого водного объекта как напряженную, особенно в период летнего прогрева воды и осенью. Ухудшение гидролого-гидрохимического режима на фоне роста температуры воды и снижения скорости течения в период летне-осенней межени является сигналом для корректировки плотности посадки и норм кормления выращиваемых объектов аквакультуры на действующих хозяйствах и обуславливает обязательные исследования в этот период на этапе планирования организации садковых рыбоводных хозяйств, включающие как минимум измерение глубины,

скорости течения водных объектов, определение химического потребления кислорода, микробиологические исследования.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают благодарность руководителям рыбоводных хозяйств, расположенных на р. Хурдун, — Ю.С. Поляковой, А.В. Чернову, В.В. Локтеву — за техническое сопровождение при отборе проб.

The authors are grateful to Yu.S. Polyakova, A.V. Chernov, and V.V. Loktev, the heads of fish farms located on the Khurdun River, for technical support in sampling.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The study had no sponsor funding.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

All applicable international, national and/or institutional principles of animal care and use have been followed. The authors state that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Концепция исследования — О.В. Пятикопова, И.Н. Бедрицкая, С.А. Дьякова; сбор материала — Д.А. Попов, С.А. Дьякова, Р.Д. Кашин; обработка материала — О.Г. Тарасова, Е.В. Макарова, Е.В. Минакова, О.В. Жаткина; статистическая обработка — Д.А. Попов, С.А. Дьякова; написание текста — И.Н. Бедрицкая, С.А. Дьякова; редактирование статьи — О. В. Пятикопова.

Research concept — O.V. Pyatikopova, I.N. Bedritskaya, S.A. Dyakova; material collection — D.A. Popov, S.A. Dyakova, R.D. Kashin; material processing — O.G. Tarasova, E.V. Makarova, E.V. Minakova, O.V. Zhatkina; statistical processing — D.A. Popov, S.A. Dyakova; text writing and illustration — I.N. Bedritskaya, S.A. Dyakova; article editing — O.V. Pyatikopova.

Список литературы

Астафьева С.С. Воздействие эксплуатации садковых рыбоводных комплексов на состояние окружающей среды в условиях Нижней Волги // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК — продукты здорового питания. — 2016. — № 1(9). — С. 21–27.

Вудивисс Ф.С. Биотический индекс р. Трент. Макробеспозвоночные и биологическое обследование // Научные основы контроля качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям. — Л. : Гидрометеоиздат, 1977. — С. 132–161.

Вятчин В.В., Федоровых Ю.В., Владимиров В.С. Оценка уровня воздействия садкового хозяйства на водную экосистему на примере ООО «АРК Белуга» (Астраханская область) // Новейшие генетические технологии для аквакультуры : мат-лы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участ. — М. : Перо, 2020. — С. 92–96. EDN: RAZUEW.

Жадин В.И. Пресноводные моллюски СССР : моногр. — Л. : Ленснабтехиздат, 1933. — 230 с.

Зайцев В.Ф., Тарасова О.Г. Оценка экологического состояния водных объектов дельты Волги по структуре донных сообществ // Юг России: экология, развитие. — 2014. — № 3. — С. 126–132.

Карыгина Н.В., Попова О.В., Галушкина Н.В. и др. Особенности гидрохимической и токсикологической обстановки в водотоках низовьев Волги в современный период // Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования : 2-я междунар. науч.-практ. Интернет-конф. — Солёное

Займище : Прикаспийский научно-исследовательский институт аридного земледелия, 2017. — С. 154–158.

Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения, в 2 кн. / В.К. Шитиков, Г.С. Розенберг, Т.Д. Зинченко. — М. : Наука, 2005. — 618 с.

Магомаев Ф.М. Товарное рыбоводство : учеб. для вузов. — Астрахань : КаспНИРХ, 2007. — 600 с.

Насибулина Б.М. Биоиндикация качества воды в бассейне Нижней Волги : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — М., 1995. — 20 с.

Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 2 : Зообентос / под ред. В.Р. Алексеева, С.Я. Цалолихина. — М. : Тов-во науч. изд. КМК, 2016. — 457 с.

Определитель насекомых Европейской части СССР / Б.М. Мамаев, Л.Н. Медведев, Ф.Н. Правдин. — М. : Просвещение, 1976. — 304 с.

Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР / Л.А. Кутикова, Я.И. Старобогатов. — Л. : Гидрометеиздат, 1977. — 512 с.

Плавильщиков Н.Н. Определитель насекомых. Краткий определитель наиболее обычных насекомых Европейской части Союза ССР. — М. : Учпедгиз, 1950. — 544 с.

Поляков А.В., Конькова А.В. Содержание молоди стерляди в садках, установленных в открытых водоемах Астраханской области // Состояние и пути развития аквакультуры в Российской Федерации в свете импортозамещения и обеспечения продовольственной безопасности страны : мат-лы 2-й нац. науч.-практ. конф. / под ред. А.А. Васильева. — Саратов : ООО «ЦеСАин», 2017. — С. 134–141.

Поляков А.В., Пономарёв С.В., Конькова А.В. Гидролого-гидрохимический режим водоема как лимитирующий фактор при выращивании рыбы в садках // Вестн. АГТУ. Сер. Рыб. хоз-во. — 2016. — № 1. — С. 70–76.

Романова Н.Н. Методические указания к изучению бентоса южных морей. — М. : ВНИРО, 1983. — 13 с.

Синенко Л.Г., Гурболикова Л.Г. Распределение и перераспределение стока воды в системе рукава Камызяк // Водные ресурсы Волги: история, настоящее и будущее, проблемы управления : мат-лы 2-й межрегион. науч.-практ. конф. — Астрахань : АИСИ, 2012. — С. 88–89.

Шишкин Н.П., Загребина О.Н. Результаты совершенствования технологического оборудования в волжских товарных садковых хозяйствах — РВК «Раскат» и АРК «Белуга» // Рыб. хоз-во. — 2010. — № 3. — С. 73.

References

Astafyeva, S.S., Impact of operation of cage fish-breeding complexes on a environment in the conditions of the Lower Volga, *Tekhnologii pishchevoy i pererabatyvayushchey promyshlennosti APK-produkty zdorovogo pitaniya*, 2016, no. 1(9), pp. 21–27.

Woodiwiss, F.S., Biotic index of the Trent River. Macroinvertebrates and biological survey, in *Nauchnyye osnovy kontrolya kachestva poverkhnostnykh vod po gidrobiologicheskim pokazatelyam* (Scientific foundations of surface water quality control using hydrobiological indicators), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1977, pp. 132–161.

Vyatchin, V.V., Fyodorovykh, Yu.V., and Vladimirov, V.S., Assessment of the impact of gardening on the aquatic ecosystem on the example of ООО«ARK Beluga» (Astrakhan region), in *Mater. Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchast. "Noveyshiye geneticheskiye tekhnologii dlya akvakul'tury"* (The latest genetic technologies for aquaculture: Proc. of the All-Russian scientific-practical conf. with international particip.), Moscow: Pero, 2020, pp. 92–96. EDN: RAZUEW

Zhadin, V.I., *Presnovodnyye mollyuski SSSR* (Freshwater mollusks of the USSR), Leningrad: Lensnabtekhizdat, 1933.

Zaitcev, V.F. and Tarasova, O.G., Assessment of environmental state of watercourses of delta of the Volga River by the structure of bottom communities, *Yug Rossii: ekologiya, razvitie*, 2014, vol. 9, no. 3, pp. 126–132.

Karygina, N.V., Popova, O.V., Galushkina, N.V., Lvova, O.A., Galley, E.V., Yatsun, E.V., Tarasova, O.G., and Bedritskaya, I.N., Features of the hydrochemical and toxicological situation in water bodies of the lower reaches of the Volga in the modern period, in *Sovremennoye ekologicheskoye sostoyaniye prirodnoy sredy i nauchno-prakticheskiye aspekty ratsional'nogo prirodopol'zovaniya: 2-ya mezhdunar. nauch.-prakt. internet-konf.* (Modern ecological state of the natural environment and scientific and practical aspects of rational nature management: 2nd int. scientific and practical. Internet

conf.), Solenoye Zaymishche: Prikaspiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut aridnogo zemledeliya, 2017, pp. 154–158. https://elibrary.ru/download/elibrary_29726915_48605630.pdf

Shitikov, V.K., Rosenberg, G.S., and Zinchenko, T.D., *Kolichestvennaya gidroekologiya: metody, kriterii, resheniya* (Quantitative hydroecology: methods, criteria, solutions), in 2 books, Moscow: Nauka, 2005.

Magomaev, F.M., *Tovarnoye rybovodstvo* (Commercial fish farming), Astrakhan: Kasp. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz., 2007.

Nasibulina, B.M., Bioindication of water quality in the Lower Volga basin, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Moscow, 1995.

Opredelitel' zooplanktona i zoobentosa presnykh vod Yevropeyskoy Rossii. T. 2 : Zoobentos (Identifier of zooplankton and zoobenthos of fresh waters of European Russia. Vol. 2: Zoobenthos), Alekseev, V.R. and Tsalolikhin, S.Ya., eds, Moscow: KMK, 2016.

Mamaev, B.M., Medvedev, L.N., and Pravdin, F.N., *Opredelitel' nasekomykh Yevropeyskoy chasti SSSR* (Identification of insects of the European part of the USSR), Moscow: Prosveshcheniye, 1976.

Kutikova, L.A. and Starobogatov, Ya.I., *Opredelitel' presnovodnykh bespozvonochnykh Yevropeyskoy chasti SSSR* (Identifier of freshwater invertebrates of the European part of the USSR), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1977.

Plavil'shchikov, N.N., *Opredelitel' nasekomykh. Kratkiy opredelitel' naiboleye obychnykh nasekomykh Yevropeyskoy chasti Soyuzo SSR* (Insect identification guide. Brief identification guide to the most common insects of the European part of the USSR), Moscow: Uchpedgiz, 1950.

Polyakov, A.V. and Konkova, A.V., Maintenance of young sterlet in cages installed in open water bodies of the Astrakhan region, in *Sostoyaniye i puti razvitiya akvakul'tury v Rossiyskoy Federatsii v svete importozameshcheniya i obespecheniya prodovol'stvennoy bezopasnosti strany : mat-ly 2-y nats. nauch.-prakt. konf.* (The state and development paths of aquaculture in the Russian Federation in light of import substitution and ensuring food security of the country: Proc. 2nd national scientific-practical conf.), Vasiliev, A.A., ed., Saratov: OOO "TseSAin", 2017, pp. 134–141.

Polyakov, A.V., Ponomarev, S.V., and Konkova, A.V., Hydrological and hydrochemical regime of water body as a limiting factor in cage fish breeding, *Vestnik Astrakh. Gos. Tekh. Univ., Ser. Ryb. khoz-vo*, 2016, no.1, pp. 70–76.

Romanova, H.N., *Metodicheskiye ukazaniya k izucheniyu bentosa yuzhnykh morey* (Methodical instructions for studying the benthos of the southern seas), Moscow: VNIRO, 1983.

Sinenko, L.G. and Gurbolikova, L.G., Distribution and redistribution of water flow in the Kamyzyak branch system, in *Vodnyye resursy Volgi: istoriya, nastoyashcheye i budushcheye, problemy upravleniya : mat-ly 2-y mezhregion. nauch.-prakt. konf.* (Water resources of the Volga: history, present and future, management problems: materials of the 2nd interregional scientific and practical conference), Astrakhan: AISI, 2012, pp. 88–89.

Shishkin, N.P. and Zagrebina, O.N., Results of improving technological equipment in the Volga commercial cage farms — RVC "Raskat" and ARK "Beluga", *Rybn. Khoz.*, 2010, no. 3, pp. 73.

RD 52.24.496-2018. Metodika izmereniy temperatury, prozrachnosti i opredeleniya zapakha vody (RD 52.24.496-2018. Method of measuring temperature, transparency and determination of the smell of water), Rostov-na Donu: Gidrokhimicheskiy institut, 2018.

PND F 14.1:2:3:4.121-97. Kolichestvennyy khimicheskiy analiz vod. Metodika vypolneniya izmereniy pH v vodakh potentsiometricheskim metodom (PND F 14.1:2:3:4.121-97. Quantitative chemical analysis of waters. Measurement procedure pH in waters by the potentiometric method), Moscow: Federal'nyy tsentr analiza i otsenki tekhnogennogo vozdeystviya, 2016.

RD 52.24.419-2019 Massovaya kontsentratsiya rastvorennogo kisloroda v vodakh. Metodika izmereniy yodometricheskim metodom (RD 52.24.419-2019 Mass concentration of dissolved oxygen in waters. Methodology for measurements by iodometric method). <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293726/4293726785.htm>. Cited April 20.2024.

PND F 14.1:2:3.110-97 Kolichestvennyy khimicheskiy analiz vod. Metodika izmereniy massovoy kontsentratsii vzveshennykh veshchestv v probakh prirodnykh i stochnykh vod gravimetricheskim metodom (PND F 14.1:2:3.110-97 Quantitative chemical analysis of water. Methodology for measuring the mass concentration of suspended solids in samples of natural and waste water by the gravimetric method). <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293751/4293751544.htm>. Cited April 20.2024.

RD 52.24.381-2017. Massovaya kontsentratsiya nitritnogo azota v vodakh. Metodika izmereniy fotometricheskim metodom s reaktivom Grissa (RD 52.24.381-2017. Mass concentration of nitrites in waters. The method of performing measurements by the photometric method with the Griss reagent), Rostov-na-Donu: Gidrokhimicheskiy institut, 2017.

PND F 14.1.2:3.1-95. Kolichestvennyy khimicheskiy analiz vod. Metodika izmereniy massovoy kontsentratsii ionov ammoniya v prirodnykh i stochnykh vodakh fotometricheskim metodom s reaktivom Nesslerera (PND F 14.1.2:3.1-95. Quantitative chemical analysis of waters. Method of measuring the mass concentration of ammonium ions in natural and wastewater by photometric method with Nessler reagent), Moscow: Federal'nyy tsentr analiza i otsenki tekhnogennogo vozdeystviya, 2017.

PND F 14.1.2:3.110-97 Kolichestvennyy khimicheskiy analiz vod. Metodika izmereniy massovoy kontsentratsii vzheshennykh veshchestv v probakh prirodnykh i stochnykh vod gravimetricheskim metodom (PND F 14.1.2:3.110-97 Quantitative chemical analysis of water. Methodology for measuring the mass concentration of suspended solids in samples of natural and waste water by the gravimetric method). <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293751/4293751544.htm>. Cited April 20.2024.

PND F 14.1.2:4.15-95 Metodika izmereniy massovoy kontsentratsii anionnykh poverkhnostno-aktivnykh veshchestv v pit'yevykh, poverkhnostnykh i stochnykh vodakh ekstraktsionno-fotometricheskim metodom (PND F 14.1.2:4.15-95 Methodology for measuring the mass concentration of anionic surfactants in drinking, surface and waste water using the extraction-photometric method). URL: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293808/4293808613.htm>. Cited April 20.2024.

PND F 14.1.2:4.128-98 Metodika izmereniy massovoy kontsentratsii nefteproduktov v probakh prirodnykh, pit'yevykh, stochnykh vod fluorimetricheskim metodom na analizatore zhidkosti «Flyoraf-02» (M 01-058-2012) (PND F 14.1.2:4.128-98 Methodology for measuring the mass concentration of petroleum products in samples of natural, drinking, waste water using the fluorimetric method on the Fluorat-02 liquid analyzer (M 01-058-2012)). <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293770/4293770987.htm>. Cited April 20.2024.

MUK 4.2.1884-04 Sanitarno-mikrobiologicheskii i sanitarno-parazitologicheskii analiz vody poverkhnostnykh vodnykh ob'yektov (s izm. № 1, 2, 3) (MUK 4.2.1884-04 Sanitary-microbiological and sanitary-parasitological analysis of water in surface water bodies (with amendments No. 1, 2, 3)). <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293851/4293851827.htm>. Cited April 20.2024.

MUK 4.2.3695-21 Metody kontrolya. Biologicheskiye i mikrobiologicheskiye faktory. Metody mikrobiologicheskogo kontrolya pochvy (MUK 4.2.3695-21 Control methods. Biological and microbiological factors. Methods of microbiological control of soil). <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293737/4293737876.htm?ysclid=lj2n646rel370453027>. Cited April 20.2024.

Prikaz Ministerstva sel'skogo khozyaystva RF ot 13.12.2016 g. № 552 «Ob utverzhdenii normativov kachestva vody vodnykh ob'yektov rybokhozyaystvennogo znacheniya, v tom chisle normativov predel'no dopustimykh kontsentratsiy vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh ob'yektov rybokhozyaystvennogo znacheniya» (s izmeneniyami i dopolneniyami) (Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation of 13.12.2016 No. 552 "On approval of water quality standards for water bodies of fishery importance, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of water bodies of fishery importance" (with amendments and additions)). <https://docs.cntd.ru/document/420389120>. Cited April 20.2024.

Prikaz Ministerstva sel'skogo khozyaystva RF ot 15 marta 2017 g. № 124 «Ob utverzhdenii Metodiki opredeleniya minimal'nogo ob'yema ob'yektov akvakul'tury, podlehashchikh razvedeniyu i (ili) soderzhaniyu, vyrashchivaniyu, a takzhe vypusku v vodnyy ob'yekt i iz'yatiyu iz vodnogo ob'yekta v graniitsakh rybovodnogo uchastka» (s izmeneniyami i dopolneniyami) (Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation of March 15, 2017 No. 124 "On approval of the Methodology for determining the minimum volume of aquaculture objects subject to breeding and (or) maintenance, cultivation, as well as release into a water body and removal from a water body within the boundaries of a fish breeding site" (with amendments and additions)). <https://docs.cntd.ru/document/420396544?ysclid=lj2po5lz2v302941454>. Cited April 20.2024.

Поступила в редакцию 23.05.2024 г.

После доработки 31.07.2024 г.

Принята к публикации 13.09.2024 г.

The article was submitted 23.05.2024; approved after reviewing 31.07.2024; accepted for publication 13.09.2024

**МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ
METHODS OF INVESTIGATIONS**

Научная статья

УДК 597.552.511–153(265.53)

DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-683-704

EDN: RCLUVF

**ТРОФОЛОГИЧЕСКИЙ КАЛЕНДАРЬ ЛОСОСЕЙ ОХОТСКОГО МОРЯ****А.Ф. Волков***Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

Аннотация. По материалам данных базы «Трофология» и «Зоопланктон» за 1988–2023 гг. исследованы характеристики питания лососей с учетом календарных сроков и пространственной локализации их размерных классов. При этом определены доступность по времени и глубине обитания видов и групп конкретных пищевых объектов, доминирующих в пище лососей. Установлено единообразие суточной ритмики питания лососей для всех размерных групп. Определено время (месяцы) максимальных концентраций размерных групп лососей с тем, чтобы выделить участки и периоды наиболее активного потребления основных видов пищи, а в дальнейшем привязывать их кормовую базу к конкретным промежуткам времени (месяцам), что может служить «трофологическим календарем». Рассчитаны СПР (суточные пищевые рационы) и таблица их значений для всех видов лососей и размерных групп, которая показывает сходство с аналогичными данными Берингова моря, а небольшие расхождения, вероятно, являются следствием различий в структуре планктонного сообщества. Для оперативных расчетов тотального потребления пищи размерными группами лососей с преимущественным питанием зоопланктоном (горбуши, кеты и нерки) составлены прикладные таблицы. Согласно прогнозу (сайт ВНИРО, *vniro.ru*), в 2024 г. вылов лососей по Дальневосточному бассейну снизится более чем в 2 раза, прежде всего за счет горбуши. Логично ожидать существенного снижения пресса лососей на планктонные сообщества.

Ключевые слова: Охотское море, база данных «Трофология», лососи, горбуша, кета, нерка, зоопланктон, желудки, суточный пищевой рацион (СПР), суточная ритмика, индекс наполнения желудка (ИНЖ)

Для цитирования: Волков А.Ф. Трофологический календарь лососей Охотского моря // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 3. — С. 683–704. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-683-704. EDN: RCLUVF.

Original article

Trophological calendar for salmon in the Okhotsk Sea**Anatoly F. Volkov**Pacific branch of VNIRO (TINRO), 4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia
D.Biol., principal researcher, volkov413@yandex.ru, ORCID 0000-0003-0057-8382

Abstract. Feeding habits of salmon are examined on the data from “Trophology” and “Zooplankton” databases for 1988–2023, taking into account calendar dates and spatial localiza-

* Волков Анатолий Федорович, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, volkov413@yandex.ru, ORCID 0000-0003-0057-8382.

tion of the salmon size classes. The dominant zooplankton species and groups in salmon food are defined and their availability in terms of time and depth of habitat is determined. Daily rhythm of salmon feeding is found uniform for all size groups. The areas and time (months) of maximum concentrations of salmon are determined, by size groups, and those ones are considered as the areas and periods of their most active consumption. A trophological calendar is constructed to show where, when, and what type of food is consumed by certain species and size group of salmon. Daily food rations are calculated for all salmon species and size groups. The rations are similar with those in the Bering Sea, with small differences possibly caused by different structure of the plankton communities. The application tables are compiled for operational calculations of total food consumption by size groups of salmon species with a predominant zooplankton prey (pink, chum and sockeye). According to the forecast published at VNIRO website *vniro.ru*, the salmon catch in the Far Eastern basin will decrease by more than 2 times in 2024, primarily due to pink salmon. In this case, significant reduction in salmon pressure on plankton community can be expected.

Keywords: Okhotsk Sea, database “Trophology”, salmon, pink salmon, chum salmon, sockeye salmon, zooplankton, stomach feeling, daily food ration, daily rhythm, gastric fullness index (GFI)

For citation: Volkov A.F. Trophological calendar of salmon in the Okhotsk Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 3, pp. 683–704. (In Russ). DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-683-704. EDN: RCLUVF.

Введение

Питание тихоокеанских лососей исследовалось во многих экспедициях ТИНРО, первичные данные в виде проб по питанию вошли в базу данных (БД) «Трофология»*, поэтому подавляющее большинство научных публикаций («Известия ТИНРО», «Лососевый бюллетень», монографии, диссертации, доклады на симпозиумах и т.п.) принадлежит отечественным специалистам, преимущественно ученым ТИНРО. В Беринговом море, помимо чисто российских экспедиций, более 10 лет изучение лососей в период анадромных миграций (август-октябрь) проводили международные экспедиции BASIS-1 и BASIS-2 по программе NPAFC. В Охотском море такие исследования проводятся исключительно в экспедициях ТИНРО и охватывают весь период пребывания лососей в акватории моря, т.е. с мая по декабрь. Соответственно, за более чем 30-летний период (1988–2023 гг.) собран большой объем первичных данных, в том числе по трофологии и кормовой базе, которые и положены в основу настоящего исследования с целью определения месяцев максимальных скоплений лососей всех размерных классов для того, чтобы ограничить временные и пространственные рамки, когда и где происходит наиболее интенсивное выедание доминирующих в их питании групп и видов зоопланктона. По результатам исследования составлены прикладные таблицы для оперативного расчета размеров потребления пищи возрастными группами лососей с преимущественным питанием зоопланктоном на единицу улова, т.е. горбуши, кеты и нерки, как это было сделано ранее для минтая [Волков, 2022] и лососей Берингова моря [Волков, 2016].

Материалы и методы

В экспедициях ТИНРО все лососевые съемки выполнялись разноглубинными пелагическими тралами в слое 0–50 м, т.е. в верхней эпипелагиали. На каждой траловой станции проводились обловы планктона сетью БСД в слое 0–50 и 0–200 м. Полученные материалы объединены в БД «Трофология» и «Зоопланктон» и составили основу настоящей статьи.

* БД «Трофология» и «Зоопланктон» существуют в формате «Excel» в лаборатории мониторинга кормовой базы и питания рыб ТИНРО (описание структуры базы и работы с ней приведены в статье А.Ф. Волкова [2019]).

По методике трофологических исследований, принятой в ТИНРО [Волков, 2008], из каждого улова изучаемого вида нужно отбирать до 25 желудков каждого размерного класса, однако по лососям такого количество особей в одной пробе удается получить нечасто, поэтому в счет идут и единичные экземпляры, иначе многие пробы по питанию лососей окажутся пустыми. Поскольку материалы по трофологии (желудки) отбираются из каждой траловой пробы с соблюдением методических указаний, локализация проб и количество желудков в определенной степени отражают наличие и плотность скоплений рыб. Следует отметить, что схемы распределения желудков лососей по акватории Охотского моря, не противоречат картам-схемам В.П. Шунтова и О.С. Темных [2008, 2011]. Общее количество материалов по питанию лососей (проб и желудков) приведено в табл. 1.

Таблица 1

Количество проб и желудков тихоокеанских лососей в Охотском море и Южно-Курильском районе (ЮКР) за 1988–2022 гг. (БД «Трофология»)

Table 1

Number of zooplankton samples and sampled stomachs of pacific salmon in the Okhotsk Sea and the South-Kuril area in 1988–2022 (database “Trophology”)

Длина рыбы, см	Кол-во проб	Кол-во желудков										
	Горбуша				Кета				Нерка			
	Охотское море		ЮКР		Охотское море		ЮКР		Охотское море		ЮКР	
	Охотское море	ЮКР										
10–15	27	265	0	0	16	80	0	0	0	0	0	0
15–20	136	790	0	0	272	1453	0	0	16	66	9	55
20–30	766	12353	43	593	686	9373	34	515	128	1221	22	121
30–40	204	527	173	961	135	270	79	332	22	31	55	214
40–50	552	5613	582	7607	255	951	275	1190	48	87	116	295
50–60	287	1141	204	794	462	1841	533	2290	53	99	21	41
60–70	3	5	7	17	364	1464	307	807	10	11	0	0
70–80	0	0	0	0	44	75	39	52	0	0	0	0
Сумма	1975	20694	1009	9972	2234	15507	1267	5186	277	1515	223	726
	Кижуч				Чавыча				Сима			
	Охотское море		ЮКР		Охотское море		ЮКР		Охотское море		ЮКР	
	Охотское море	ЮКР										
	Охотское море	ЮКР										
10–15	0	0	0	0	2	2	0	0	2	2	0	0
15–20	9	23	0	0	16	69	0	0	14	60	0	0
20–30	138	862	8	39	62	489	9	60	252	688	0	0
30–40	173	970	8	28	22	29	11	15	334	1017	0	0
40–50	16	19	25	31	36	52	12	14	52	75	0	0
50–60	73	191	21	219	30	37	23	24	2	3	0	0
60–70	35	54	35	40	55	70	32	42	1	1	0	0
70–80	2	2	0	0	36	42	11	11	0	0	0	0
80–105	0	0	0	0	14	15	0	0	0	0	0	0
Сумма	446	2121	97	357	273	805	98	166	657	1846	0	0

По поводу исследования морского периода жизни тихоокеанских лососей отметим следующее. Длительный период материалы по питанию добывались из сетных сборов. Постановка порядков происходила в вечерние часы, выборка — в утренние, когда большая часть зоопланктона, составляющего основу пищи мас-

совых видов лососей (горбуши, кеты, нерки), уже была почти полностью переварена (теперь мы это знаем). Понятно, что ценность получаемых данных для трофологических исследований была, мягко говоря, относительной. Но это не было виной исследователей, поскольку возможности сбора полноценных данных возникли сравнительно недавно вместе с появлением крупнотоннажного тралового флота и больших пелагических тралов. В 1986 г. впервые в истории изучения лососей в экспедиции ТИНРО в Беринговом море на БАТМ «Бабаевск» (начальник экспедиции проф. В.П. Шунтов) были проведены успешные обловы лососей пелагическими тралами, которые положили начало новому этапу их исследований [Шунтов и др., 1988а, б]. С этого времени такие исследования были введены в стандарт ТИНРО, затем и за рубежом. В Охотском море такие работы были начаты в 1988 г. [Шунтов и др., 1990].

В настоящей статье приводятся различные сведения, в той или иной мере известные из других публикаций (таблицы длина-масса, списки доминирующих видов, СПР, графики суточной ритмики), но они дополнены или обновлены и могут быть использованы другими исследователями. Представлены также в большинстве случаев оригинальные данные как в методическом, так и в информационном плане.

Если ориентироваться только на показатели по составу пищи в пробах, то окажется, что одинаково значимыми будут данные, полученные не только по нескольким, но и по многим желудкам в пробах, что на пространственном уровне будет давать заведомо ложные показатели, перекошенные в сторону проб с небольшим количеством рыб. Поэтому при расчетах средних показателей интенсивности питания для каждого участка акватории (в данном случае стандартного биостатистического района) это нужно учитывать, и значения ИНЖ в каждой пробе перемножать на количество желудков, суммировать полученные значения и сумму делить на общее количество желудков. Таким образом будут получены результаты, близкие к адекватным, т.е. средневзвешенным.

Две следующие таблицы (табл. 2 и 3) рассчитаны по материалам БД «Трофология». Первая содержит данные по длине и массе размерных классов, вторая служит основой для построения графиков «длина-масса» (рис. 1), с которых в случае необходимости можно снять показатели для любых значений длины или массы.

Таблица 2
Средняя длина и масса лососей размерных классов из Охотского моря
(БД «Трофология»)

Table 2
Mean length and weight of salmon in the Okhotsk Sea, by size classes
(database "Trophology")

Размерный класс, см	Горбуша		Кета		Нерка		Кижуч		Чавыча		Сима	
	Длина, см	Масса, г										
10–15	12	19	13	18,3	19	77			13	28	12	16
15–20	19	67	19	72	25	177	18	80	19	92	18	78
20–30	25	170	24	148	35	498	26	249	25	214	27	255
30–40	34	484	35	540	46	1234	33	501	35	612	34	495
40–50	46	1271	46	1258	54	2028	44	1194	45	1232	43	1020
50–60	53	1893	56	2247	63	3225	56	2453	57	2566	51	1678
60–70	–	–	64	3518	–	–	63	3547	66	3757	–	–
70–80	–	–	73	5166	–	–	76	5485	75	5826	–	–
80–100	–	–	–	–	–	–	–	–	88	15318	–	–

Длина с 5-сантиметровым интервалом и масса лососей Охотского моря (июль-октябрь)

Table 3

Weight of salmon in the Okhotsk Sea in July-October, by size groups with 5-cm interval

Длина, см	Масса, г					
	Горбуша	Кета	Нерка	Кижуч	Чавыча	Сима
10	11	11	11	13	13	10
15	25	25	27	35	40	28
20	75	80	90	90	125	100
25	170	175	165	190	240	200
30	325	320	305	360	395	345
35	540	530	505	625	600	550
40	825	810	780	940	880	820
45	1180	1170	1150	1340	1220	1160
50	1600	1625	1595	1825	1670	1580
55	2100	2175	2140	2370	2220	—
60	—	2850	2775	2990	2880	—
65	—	3625	—	3720	3690	—
70	—	4450	—	4525	4650	—
75	—	5300	—	5350	5770	—

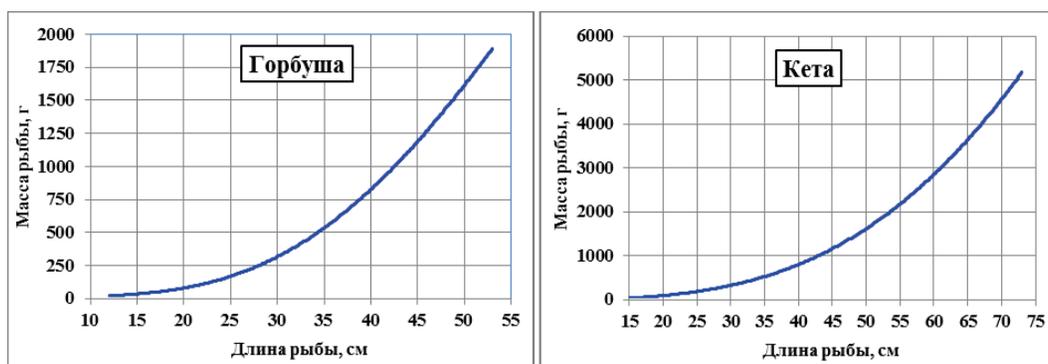


Рис. 1. Длина-масса горбуши и кеты Охотского моря летом-осенью 1988–2023 гг., БД «Трофология» (данные табл. 3 на графиках представлены линиями «полиномиальная 4»)

Fig. 1. Length and weight of pink and chum salmon in the Okhotsk Sea in summer-autumn of 1988–2023 on the database “Trophology” and on the data of Table 3 approximated by polynomial function of 4th order

Результаты и их обсуждение

В Охотском море лососи встречаются почти повсеместно, но наибольшее значение в промысле постоянно принадлежит промрайону западной Камчатки, доля которой в этом море в среднем за 2016–2023 гг. составляла 62 % (рис. 2, табл. 4), отсюда следует, что и запасы кормовой базы должны удовлетворять потребностям такой массы рыб.

Из 6 видов тихоокеанских лососей у 3 (горбуша, кета, нерка) пищей преимущественно является зоопланктон и у 3 (кижуч, чавыча, сима) — рыбы и кальмары. В соответствии с количеством и распределением этих видов по акватории моря (табл. 5) должно оцениваться их влияние на состояние той части кормовой базы, которая составляет основную часть пищи этих лососей. Прогноз на 2024 г. предполагает самый низкий вылов лососей начиная с 2016 г., а по отношению в 2023 г. — в 3 раза меньше, и это относится не только к горбуше, но и к прочим видам — кете, особенно нерке и кижучу.

Приведенные табл. 4 и 5 и рис. 2 и 3 показывают, что основное значение в исследованиях лососей Охотского моря должно уделяться триаде «горбуша–кета–нерка» района западной Камчатки.



Рис. 2. Распределение вылова тихоокеанских лососей между регионами по состоянию на 01 сентября 2024 г., над чертой общий вылов, под чертой — прирост за сутки (*vniro.ru* информация о ходе лососевой путины, фрагмент)

Fig. 2. Distribution of Pacific salmon catch between regions as of September 1, 2024, above the line is the total catch, below the line is the daily increase (*vniro.ru* information on fishing of season, fragment)

Таблица 4

Общий вылов лососей в Охотском море в 2016–2023 гг. [по: Шунтов, Темных, 2016, 2017, 2018; Темных и др., 2019; Шевляков и др., 2020; Беляев, Канзепарова, 2023; Канзепарова и др., 2024], добавлен 2024 г. (сайт *vniro.ru*, лососевая путина, прогноз), тыс. т

Table 4

Annual catch of salmon in the Okhotsk Sea in 2016–2023 [from: Shuntov, Temnykh, 2016, 2017, 2018; Temnykh et al., 2019; Shevlyakov et al., 2020; Belyaev, Kanzeparova, 2022; Kanzeparova et al., 2024; with addition of 2024 data], 10³ t (website *vniro.ru*, salmon poutine, forecast)

Район промысла	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2016–2023	2024
Западная Камчатка	121	51	356	117	157	124	71	278	159 (62,3 %)	36
Материковое побережье	15	26	26	29	28	38	34	38	29 (11,5 %)	8
Амур и лиман	65	27	22	8	9	13	4	4	19 (7,5 %)	15
Северные Курильские острова	4	4	4	5	4	19	4	8	7 (2,5 %)	6
Восточный Сахалин	70	19	61	19	31	27	56	48	41 (16,2 %)	57
Все Охотское море	275	127	469	178	229	221	169	376	255 (100 %)	122

Таблица 5

Вылов лососей в Охотском море по видам в 2023 г., тыс. т [Канзепарова и др., 2024]

Table 5

Annual catch of salmon in the Okhotsk Sea in 2023, by species, 10³ t [Kanzeparova et al., 2024]

Район промысла	Горбуша	Кета	Нерка	Кижуч	Сима	Чавыча	Всего	Доля, %
Западная Камчатка	231,2	14,3	23,3	9,5	0	0,1	278,4	73,9
Материковое побережье	21,5	15,1	0,4	1,1	0	0	38,1	10,1
Амур и лиман	0	4,4	0	0	0	0	4,4	1,2
Северные Курильские острова	4,3	1,3	1,2	0,8	0	0	7,6	2,0
Восточный Сахалин	26,7	21,4	0	0	0	0	48,1	12,8
Все Охотское море	283,7	56,5	24,9	11,4	0	0,1	376,6	100,0
Прогноз на 2024 г.*	68,8	44,2	3,2	5,0	0	0	121,2	100

* Сайт *vniro.ru*, лососевая путина, прогноз.

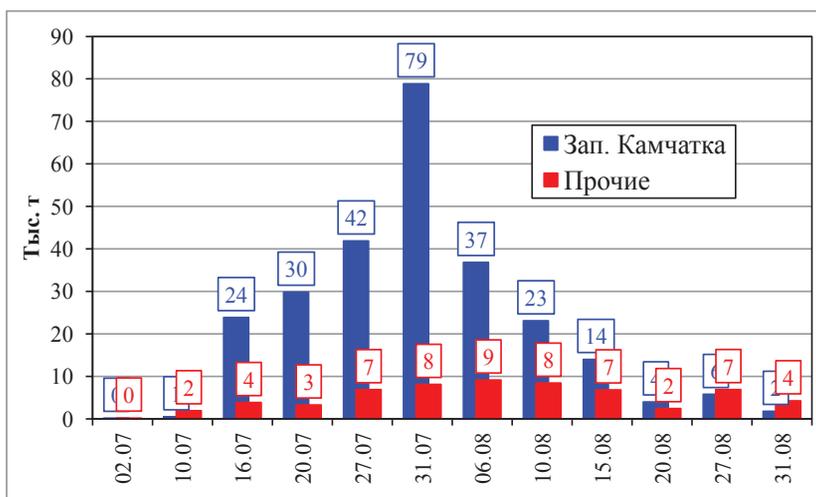


Рис. 3. Величина вылова лососей в основных районах промысла в Охотском море за 5-дневные периоды 2023 г., тыс. т (*прочие* — восточный Сахалин, Магаданская область, Хабаровский край)

Fig. 3. Catch of salmon on the main fishing grounds areas in the Okhotsk Sea in 2023, by 5-day periods, 10³ t

По динамике вылова лососей по 5-дневкам (рис. 3) видно, что основная часть анадромных лососей в открытых водах Охотского моря находится в течение одного летнего месяца, с 16.07 по 15.08, т.е. в течение этого короткого времени происходит наиболее интенсивное выедание кормовой базы половозрелых рыб.

Состав пищи лососей Охотского моря (рис. 4). Состав кормовой базы лососей Охотского моря изменяется в зависимости от размеров, состава планктонного сообщества и видовых предпочтений, а при определении обеспеченности пищей должна учитываться численность размерных групп и их преимущественная локализация.

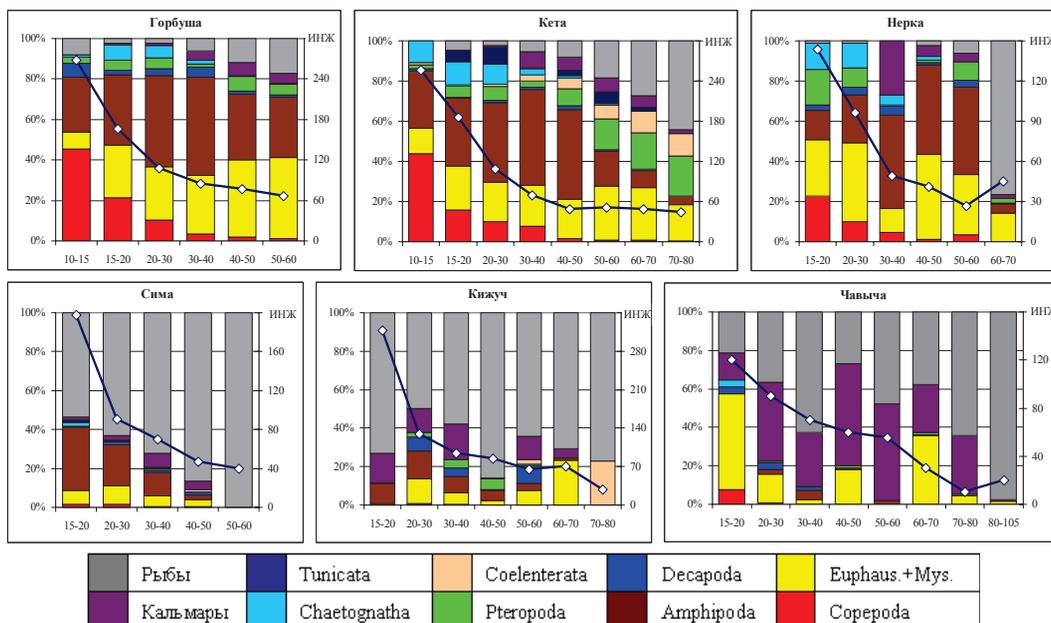


Рис. 4. Состав пищи тихоокеанских лососей в Охотском море: *правая ось* — ИНЖ, %; *нижняя ось* — длина рыб, см

Fig. 4. Food composition for pacific salmon in the Okhotsk Sea: *right axis* — GFI, %; *bottom axis* — fish length, cm

В нашем случае она определяется по пространственному распределению желудков разновозрастных рыб, собранных в экспедициях ТИНРО в период с 1988–2023 гг., а также по фактическому вылову взрослых лососей в основных районах их промысла в Охотском море (см. табл. 1 и 2).

У горбуши, кеты и нерки в пище доминируют 4 группы зоопланктона: гипериды, эвфаузииды, крупные копеподы, доля которых наиболее высока у сеголеток и быстро сходит на нет, крылоногие моллюски. С увеличением размеров постепенно возрастает количество личинок рыб, мальков, молоди, мелких рыб и кальмаров, а различие состоит в том, что из крылоногих моллюсков горбуша и нерка предпочитают лимацину, а кета — клиону. Кроме того, только у кеты заметна доля кишечнополостных и оболочников, так как для нее вообще характерно потребление желетелых [Волков, 2022]. У сеголеток длиной 10–20 см из эвфаузиид преобладают фурцилии и молодь до 7–10 мм, у неполовозрелых длиной 20–40 см — рачки длиной 10–20 мм, у половозрелых — взрослые особи 20–30 мм; из гиперид у сеголеток в пище преобладает молодь до 5 мм, у неполовозрелых — 5–7 мм, у взрослых — 7–12 мм.

В пище симы и кижуча с самого раннего возраста (15–20 см) доминируют рыбы, а у чавычи — рыбы и кальмары, хотя планктон может составлять заметную долю, особенно у сеголеток, ранней молоди и у отдельных более крупных экземпляров рыб.

Осредненные многолетние данные, которые положены в основу настоящего исследования, показывают вероятность ситуаций, в данном случае горизонтального распределения, и увеличить эту вероятность можно, освободившись от «пустых» участков акватории или занятых единичными точками. Поэтому, исходя из местонахождения основных материалов по питанию лососей в Охотском море в осенне-летний период, данные по планктону (табл. 6) были, соответственно, ограничены акваторией, расположенной к югу от 57° с.ш. и к востоку от 147° в.д.

Таблица 6

Среднесуточная биомасса (мг/м³ и г/м²) массовых видов крупной фракции зоопланктона в восточной части Охотского моря в летне-осенний период — июль-октябрь (данные взяты из БД «Зоопланктон»); синим цветом выделены виды, доминирующие в пище триады «горбуша-кета-нерка»; ЭП — эпипелагиаль, 0–200 м; ВЭП — верхняя эпипелагиаль, 0–50 м; НЭП — нижняя эпипелагиаль, 50–200 м

Table 6

Mean daily biomass (mg/m³ and g/m²) of common species in the large-sized fraction of zooplankton in the eastern Okhotsk Sea in summer-autumn (July-October), from the database «Zooplankton». The species dominated in the diet of the pink, chum and sockeye salmon are highlighted in blue; ЭП — epipelagic layer 0–200 m; ВЭП — upper epipelagic layer 0–50 m; НЭП — lower epipelagic layer 50–200 m

Слой	<i>Calanus glacialis</i>	<i>Neocalanus cristatus</i>	<i>N. plumchrus</i>	<i>Eucalanus bungii</i>	<i>Pareuchaeta japonica</i>	<i>Metridia pacifica</i>	<i>M. okhotensis</i>	<i>Thysanoessa raschii</i>	<i>Th. longipes</i>	<i>Euphausia pacifica</i>	<i>Themisto pacifica</i>	<i>Primo macropa</i>	<i>Clione limacina</i>	<i>Limacina helicina</i>	<i>Sagitta elegans</i>	<i>Aglantha digitale</i>	<i>Dimophys arcica</i>	<i>Boreo cucumis</i>
Биомасса, мг/м³																		
ЭП	18	24	193	37	6	5	14	42	37	5	23	3	1	1	326	33	67	15
ВЭП	4	36	265	15	5,7	7,6	18	27	56	6,3	34	2,6	0,7	0,7	293	5	0	0
НЭП	23	21	168	44	5,7	4,3	13	47	31	4,2	20	2,7	1,4	1,2	337	42	89	20
Биомасса (плотность), г/м²																		
ЭП	3,7	5,0	38,5	7,4	1,1	1,0	2,9	8,4	7,5	0,9	4,7	0,5	0,2	0,2	65,2	6,6	13,4	3,0
ВЭП	0,2	1,8	13,3	0,8	0,3	0,4	0,9	1,4	2,8	0,3	1,7	0,1	0,0	0,0	14,7	0,3	0,0	0,0
НЭП	3,5	3,2	25,2	6,6	0,9	0,6	2,0	7,1	4,7	0,6	3,0	0,4	0,2	0,2	50,6	6,3	13,4	3,0

Несмотря на известные закономерности суточной вертикальной динамики эвфаузиид, показывающей их минимальную численность в верхней эпипелагиали в дневное время, в пище лососей начиная с рассвета наблюдается обратная картина: количество эвфаузиид в пище увеличивается, а с наступлением сумерек уменьшается (рис. 5). Этот факт трудно объяснить миграцией кеты и горбуши в мезопелагиаль, куда в дневное время мигрируют эвфаузииды, гиперииды и некоторые из крупных копепод, поскольку считается установленным, что кета и горбуша практически не покидают верхний 50-метровый слой (табл. 7), т.е. похоже на то, что они эффективно используют небольшую часть этих видов, которые и днем остаются в эпипелагиали, возможно, для нереста.

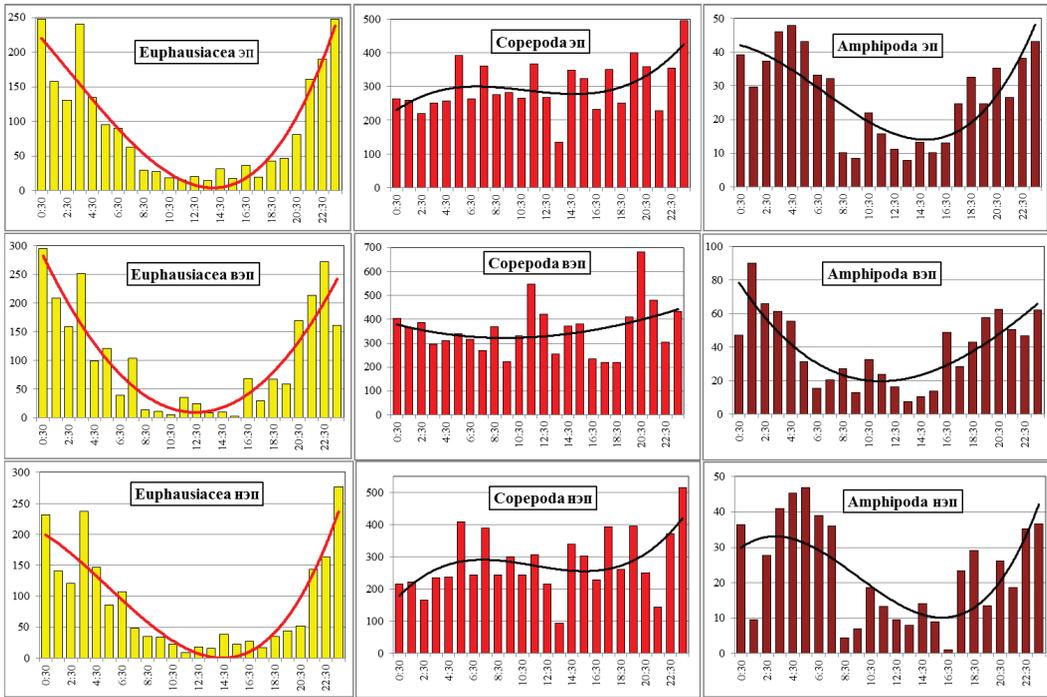


Рис. 5. Почасовая биомасса (mg/m^3) трех групп крупной фракции зоопланктона в юго-восточной части Охотского моря в летне-осенний период (июль-октябрь): *эп* — эпипелагиаль (0–200 м), *вэл* — верхняя эпипелагиаль (0–50 м), *нэл* — нижняя эпипелагиаль (50–200 м), линия тренда — «полиномиальная 3»

Fig. 5. Hourly biomass (mg/m^3) of three species groups from the large-sized fraction of zooplankton in the southeastern Okhotsk Sea in summer-autumn (July-October): *эп* — epipelagic layer 0–200 m, *вэл* — upper epipelagic layer 0–50 m, *нэл* — lower epipelagic layer 50–200 m. Polynomial (3rd order) trend is shown

Таблица 7

Глубины обитания лососей по данным мечения, м [по: Walker et al., 2007]

Table 7

Depth of salmon habitat, from the data of tagging, m [from: Walker et al, 2007]

Вид	N	Средняя глубина	Средне-суточная миним.	Средняя ночная	Средняя дневная	Разность день-ночь	Средне-ночная макс.	Средне-дневная макс.	Средне-суточная макс.	Максимальная глубина
Нерка	12	3	0	3	4	1	9	18	19	83
Горбуша	3	10	1	4	13	9	19	36	37	74
Кижуч	10	11	0	8	12	4	29	42	46	97
Кета	11	16	1	8	20	12	33	56	58	253
Чавыча	2	42	17	40	43	3	84	125	130	344

Суточная ритмика питания и суточный пищевой рацион (СПР). Впервые наличие единообразной суточной миграции у всех тихоокеанских лососей отмечено по материалам научного рейса ТИНРО осенью 2004 г. в Берингово море [Волков, Косенок, 2005, 2006]. Это было сделано по суточной динамике наполнения желудков. Ранее такая же суточная ритмика показана по доле свежей пищи в желудках кеты Берингова моря (рис. 6) [Волков, 1994], а позже — по динамике пустых и полных желудков у лососей Берингова моря без учета видовой и размерной дифференциации по сводным материалам за 2002–2013 гг. (рис. 7) [Волков, 2016].

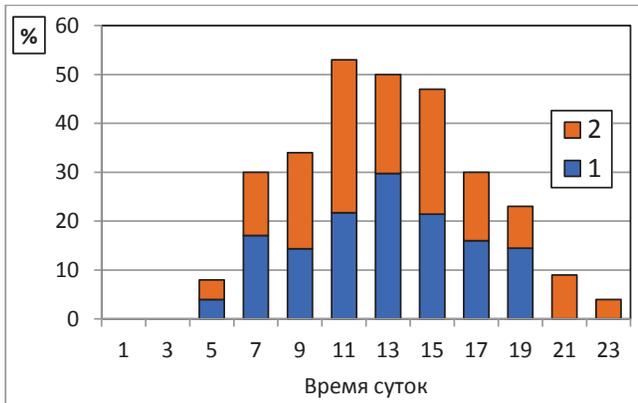


Рис. 6. Суточная ритмика питания кеты (50–70 см) в Беринговом море в летний период: 1 — свежая пища, 2 — слабопереваренная [по: Волков, 1994]

Fig. 6. Daily rhythm of feeding for chum salmon (50–70 cm) in the Bering Sea in summer: 1 — fresh food, 2 — poorly digested food [from: Volkov, 1994]

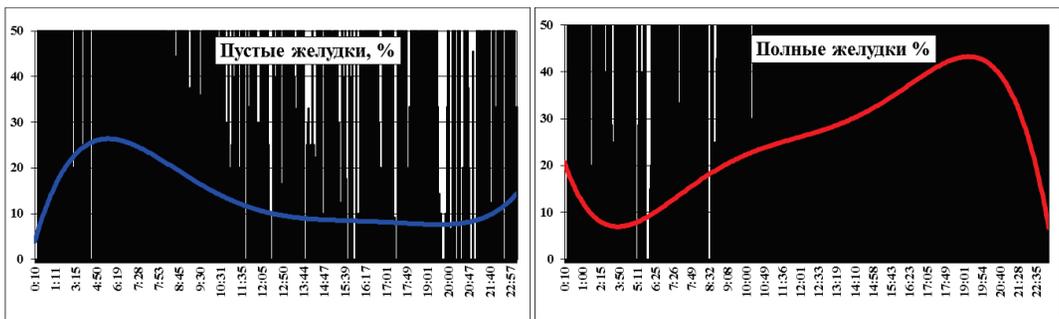


Рис. 7. Суточная динамика «пустых» и «полных» желудков лососей (8006 проб) в западной части Берингова моря в летне-осенний период 2002–2013 гг. без размерной и видовой дифференциации (линия тренда — «полиномиальная») [Волков, 2016]

Fig. 7. Daily dynamics of empty and full stomachs of salmon (8006 samples) in the western Bering Sea in summer-autumn of 2002–2013 (without differentiation by species and size). Polynomial trend is shown [Volkov, 2016]

Ниже представлены графики, на которых показана единая суточная ритмика у всех размерных групп горбуши, кеты (рис. 8) и нерки (рис. 9) Охотского моря. На графиках линии тренда («полиномиальная 3») имеют одинаковую конфигурацию и отражают суточную ритмику питания у всех размерных классов. Таким образом, применение разных методов приводит к одинаковым результатам. Понятно, что это функция, показывающая направленность генерального хода процессов потребления и переваривания пищи, в действительности же в одно и то же время отдельные особи могут показывать диаметрально противоположную накормленность и иной состав пищи.

У кижуча, чавычи и симы до 20–40 см такая же ритмика проявляется достаточно четко, у более крупных групп основу пищи составляют рыбы и кальмары, для переваривания которых требуется больше времени (2–3 сут), поэтому ритмика выражена слабее.

По такой же схеме происходит суточное потребление доминирующих групп зоопланктона (рис. 10).

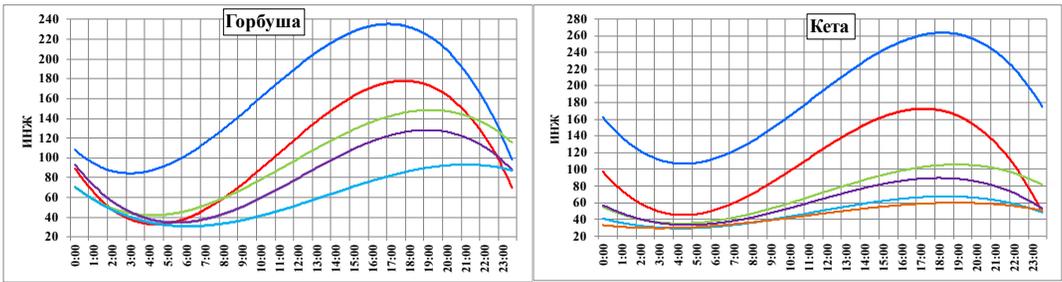


Рис. 8. Суточная ритмика питания горбуши и кеты (ИНЖ, ‰)
 Fig. 8. Daily rhythm of feeding for pink salmon and chum salmon (GFI, ‰)

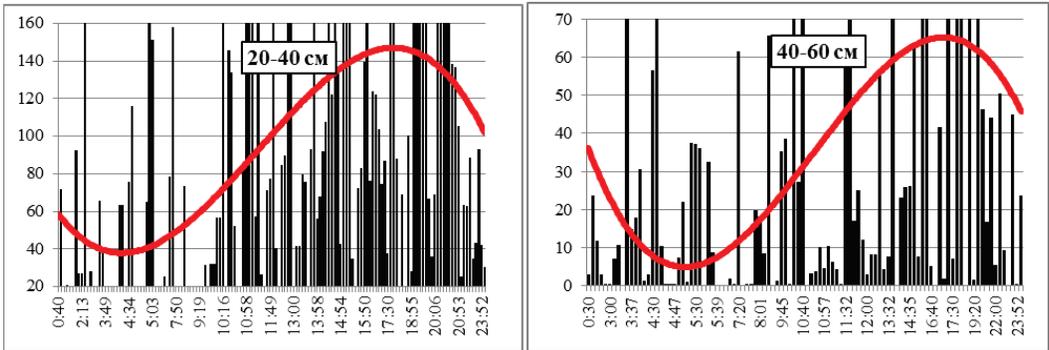


Рис. 9. Суточная ритмика питания нерки (ИНЖ, ‰)
 Fig. 9. Daily rhythm of feeding for sockeye salmon (GFI, ‰)

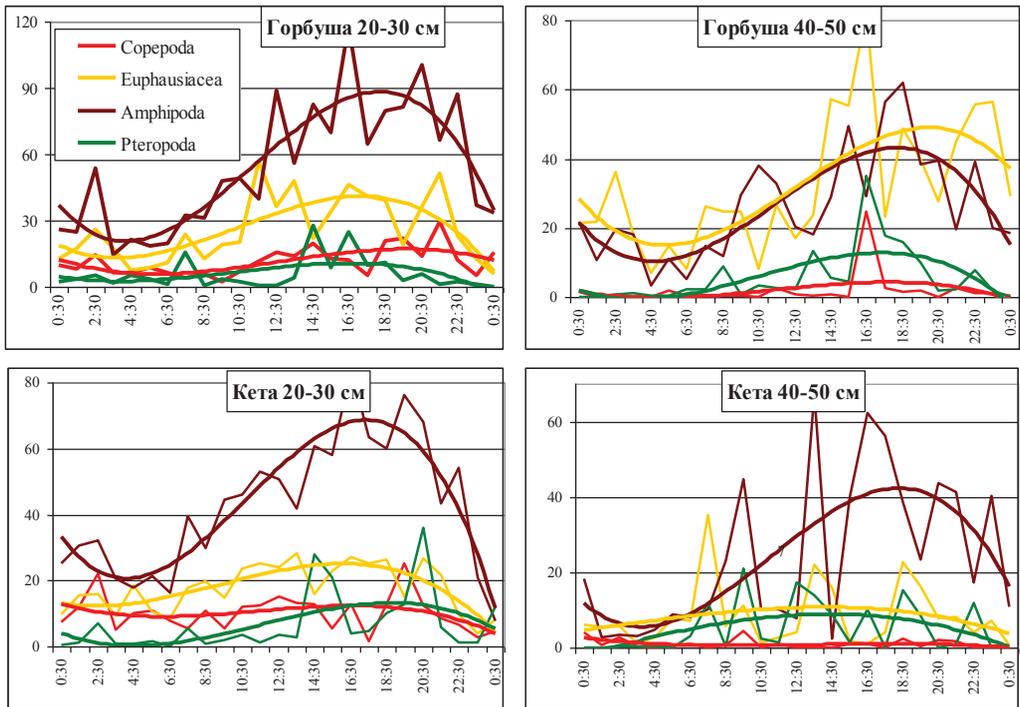


Рис. 10. Суточная динамика доминирующих групп планктона крупной фракции в пище горбуши и кеты (ИНЖ, ‰). Формат линий тренда — «полиномиальная 3». Левая ось — ИНЖ, нижняя — время суток

Fig. 10. Daily dynamics of the dominant groups of species from the large-sized fraction of zooplankton in the food of pink and chum salmon (GFI, ‰). Polynomial (3rd order) trend is shown. The left axis is GFI, the bottom axis is the time of day

Таким образом, можно считать установленной следующую схему питания тихоокеанских лососей: начало питания с рассветом, далее интенсивность возрастает, и наполнение желудков достигает максимума к наступлению ранних сумерек, после чего процесс переваривания пищи преобладает над ее потреблением, в результате чего к окончанию ночи планктон переваривается почти полностью. Такая ритмика указывает в том числе и на то, что лососи являются «зрительными» хищниками, поэтому большую часть времени обитают преимущественно в верхней эпипелагиали (табл. 7), где и располагается их основная кормовая база, и питаются в основном в светлое время суток. Отдельно от других находится чавыча, обладающая способностью заныривать в мезопелагиаль и там отыскивать свою пищу.

Определение СПР. В научной литературе предложено и описано много методов определения СПР [Чучукало, 2006], ни один из которых не является универсальным и не принят в качестве стандартного, поэтому в практике ТИНРО для таких рыб тихоокеанского бассейна, как минтай, сельдь, лососи, и ряда других, основу питания которых составляет зоопланктон, СПР рассчитывается как удвоенная разница между среднемаксимальными и средниминимальными значениями ИНЖ, ‰ [Волков, 2008]. Полученные таким способом значения СПР для лососей Охотского и Берингова морей и средние по ним приведены в табл. 8.

Таблица 8

СПР тихоокеанских лососей, % от массы рыбы
(Берингово море — данные автора [Волков, 2016])

Table 8

Daily food ration of pacific salmon, % of the fish weight [Volkov, 2016]

Длина, см	Горбуша			Кета			Нерка			Кижуч			Чавыча		
	Охотское	Берингово	Среднее												
10–15	7,6	7,0	7,3	8,0	9,0	8,5	7,3	7,1	7,2	8,9	–	–	–	5,9	–
15–20	6,5	6,1	6,3	6,6	6,2	6,4	6,6	5,4	6,0	8,2	–	–	6,2	6,0	6,1
20–30	5,4	5,1	5,3	5,2	4,7	5,2	6,1	4,5	5,3	6,7	5,8	6,3	5,7	5,1	5,4
30–40	4,6	3,3	4,0	3,4	3,4	3,7	3,8	3,5	3,7	6,1	4,7	5,4	5,6	4,5	5,1
40–50	4,0	3,2	3,6	3,0	3,0	3,3	2,8	2,5	2,7	5,1	3,4	4,3	5,7	3,1	4,4
50–60	3,2	3,1	3,2	2,8	2,2	3,0	2,6	2,8	2,7	4,4	2,6	3,5	3,2	1,9	2,6
60–70	–	–	–	2,2	1,8	1,1	–	2,1	2,1	6,4	1,9	4,2	4,5	1,5	3,0
70–80	–	–	–	1,9	1,7	1,0	–	–	–	–	–	–	4,0	1,1	2,6

Количественное распределение желудков лососей по акватории Охотского моря и ЮКР на картах (экз.) и распределение по месяцам на графиках (%) за 1988–2023 гг. (рис. 11–16). Основное внимание уделяется Охотскому морю как нерестовому водоему лососей, а ЮКР служит для них транзитной зоной при миграциях производителей в Охотское море и скате молоди в Тихий океан, что и показывают приведенные ниже рис. 11–16.

Лососи 10–15 см. Сеголетки горбуши в открытой части моря начали появляться в июле, наибольшая численность отмечена в августе, их находки были приурочены к прибрежно-шельфовой зоне Охотского моря и отсутствовали в Центральной котловине в водах ЮКР. Небольшое количество желудков сеголеток кеты (80) прибавлены к следующему классу. У других видов эта размерная группа в наших материалах отсутствовала.

Лососи 15–20 см. Сеголетки и молодь всех лососей также не начали покидать Охотское море и в водах ЮКР отсутствовали. Основная часть горбуши, кеты и нерки из этой группы наблюдалась в октябре, а кижуча, чавычи и симы — в августе.

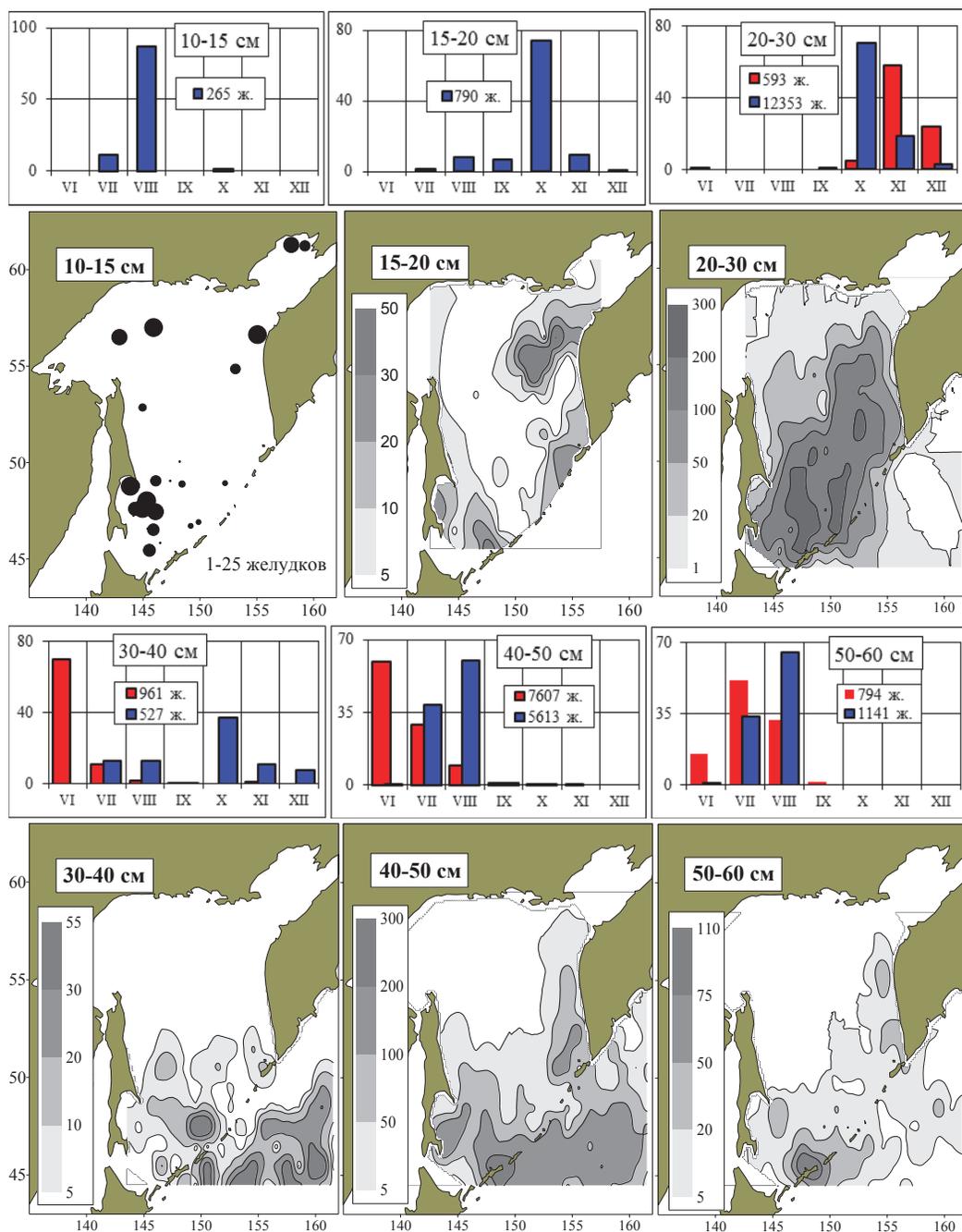


Рис. 11. Распределение количества желудков размерных групп горбуши по акватории (на картах). Здесь и далее их распределение по месяцам (%) и общее количество (на графиках); Охотское море — синий цвет, ЮОКР — красный

Fig. 11. Spatial distribution of the number of sampled stomachs, by size groups of pink salmon. Hereinafer: total number and percentage by month (%); Okhotsk Sea — blue, South-Kuril area — red

Лососи 20–30 см. Если судить по количеству желудков, то в Охотском море это самая многочисленная группа с максимумом в октябре у всех лососей (кроме кижуча), которая уже начала мигрировать из Охотского моря в ЮОКР, где максимальная численность отмечена в ноябре-декабре.

Лососи 30–40 см. Это малочисленная группа с промежуточным положением: небольшая часть горбуши и кеты, которая доросла до этих размеров, покидает Охотское

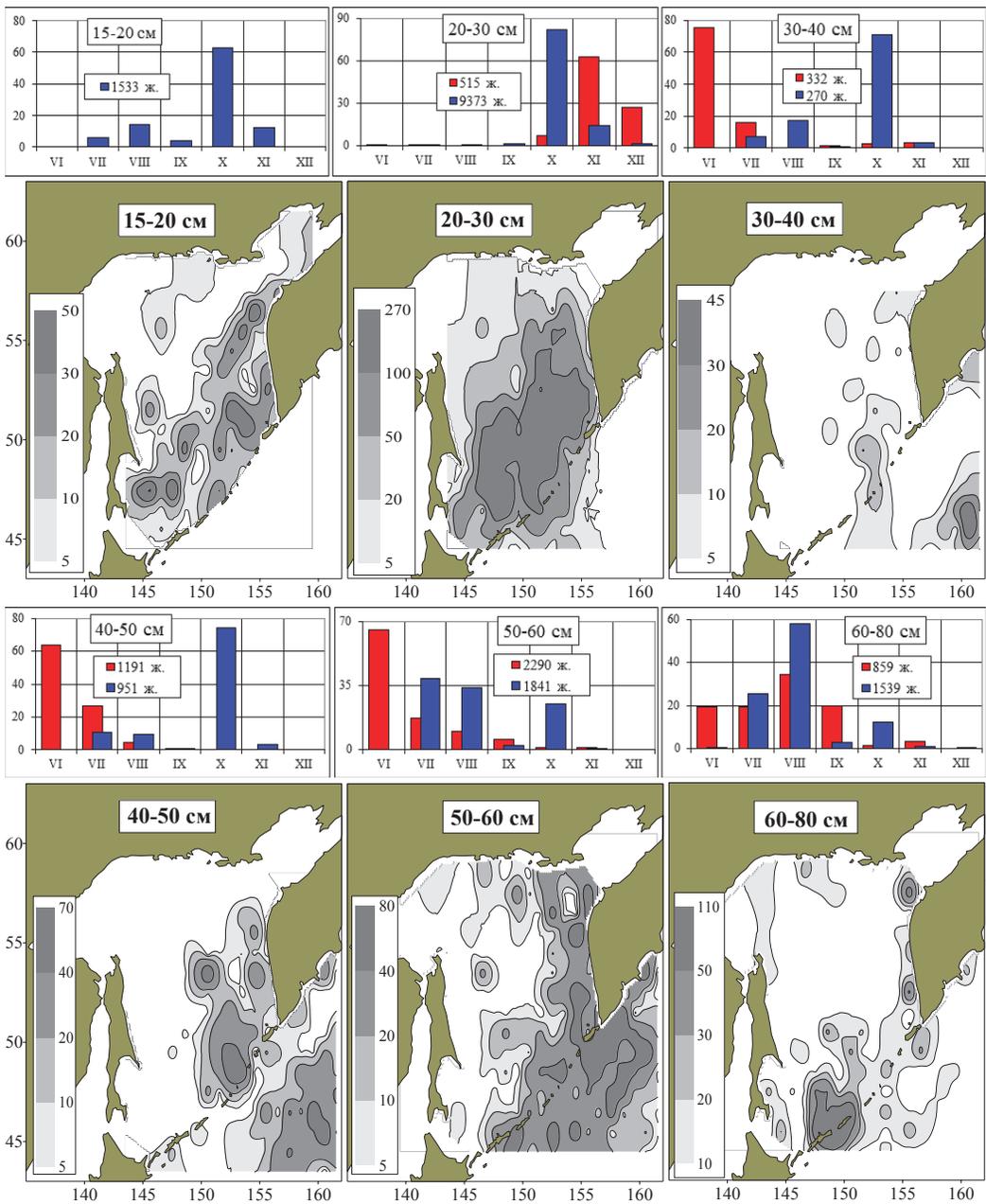


Рис. 12. Распределение количества желудков размерных групп кеты
 Fig. 12. Distribution of the number of sampled stomachs, by size groups of chum salmon

море, а более многочисленная часть уже подошла в ЮКР и начала миграцию в Охотское море к местам нереста. У прочих лососей просматривается та же ситуация, хотя и менее четко вследствие недостаточных объемов данных.

Лососи 40–50, 50–60 см и более. Это, как правило, половозрелые рыбы, готовые занять свои нерестилища.

Очевидно, что облавливаемость сеголеток и молоди лососей длиной 10–15 и 15–20 см крупнейшими пелагическими травами меньше, чем в действительности, на порядок и более, хотя в научных целях трава дополняются мелководными вставками. В какой-то мере это помогает судить об относительной численности мелких рыб. Начиная с длины 20–30 см численность желудков в уловах возрастает до

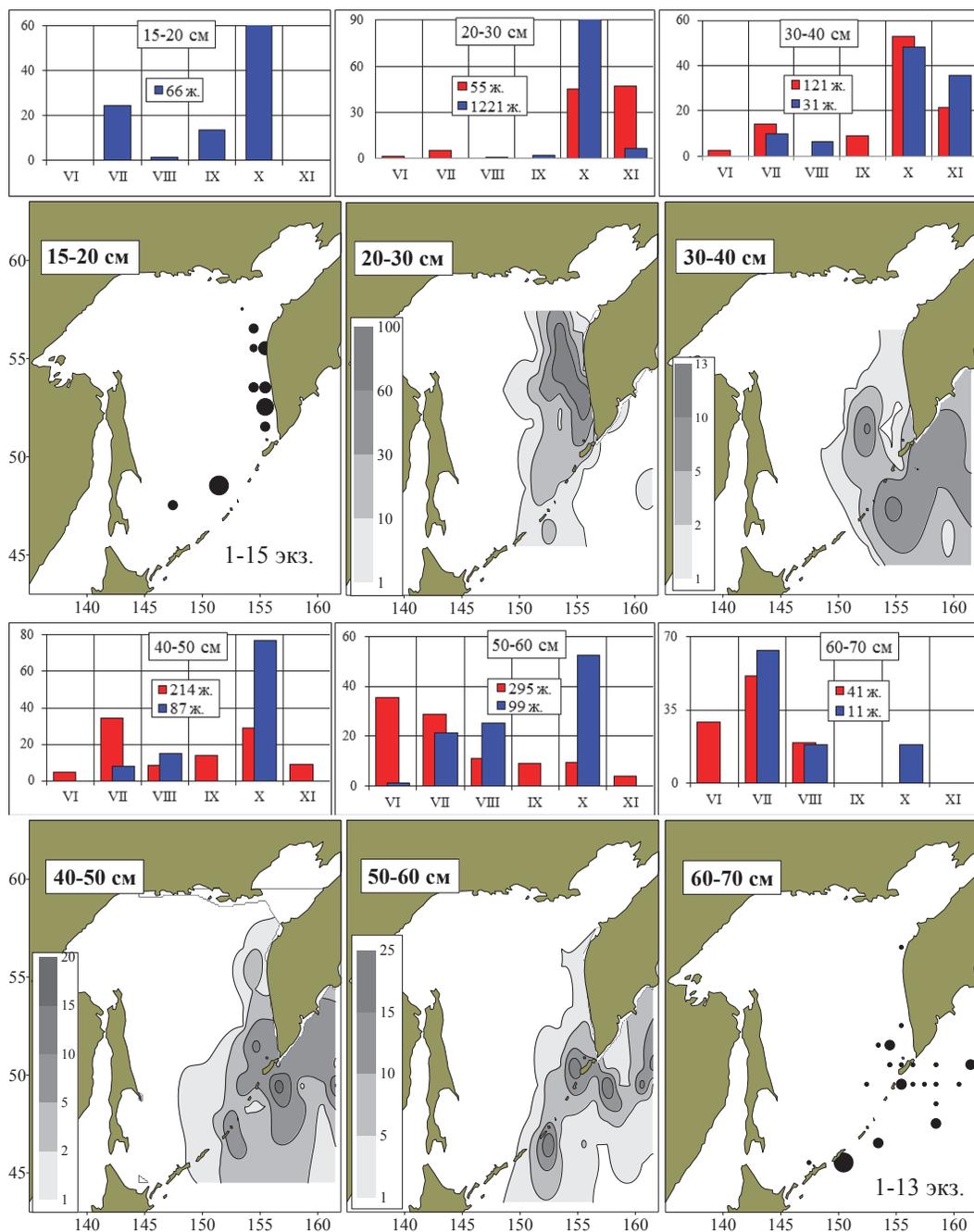


Рис. 13. Распределение количества желудков размерных групп нерки

Fig. 13. Distribution of the number of sampled stomachs, by size groups of sockeye salmon

максимальной, а затем закономерно уменьшается по мере перехода в последующие размерные группы.

Распределение желудков всех видов и размеров лососей показывает общую тенденцию к образованию массовых скоплений в западной части моря к югу от 59° с.ш., это подтверждается и результатами промысла (см. рис. 7, табл. 7 и 8). Отсюда следует вывод, что среди лососей главными потребителями зоопланктона являются в первую очередь горбуша, затем кета и нерка, и основной пресс, соответственно, ложится на копепод, гиперид, эвфаузиид и птеропод в водах

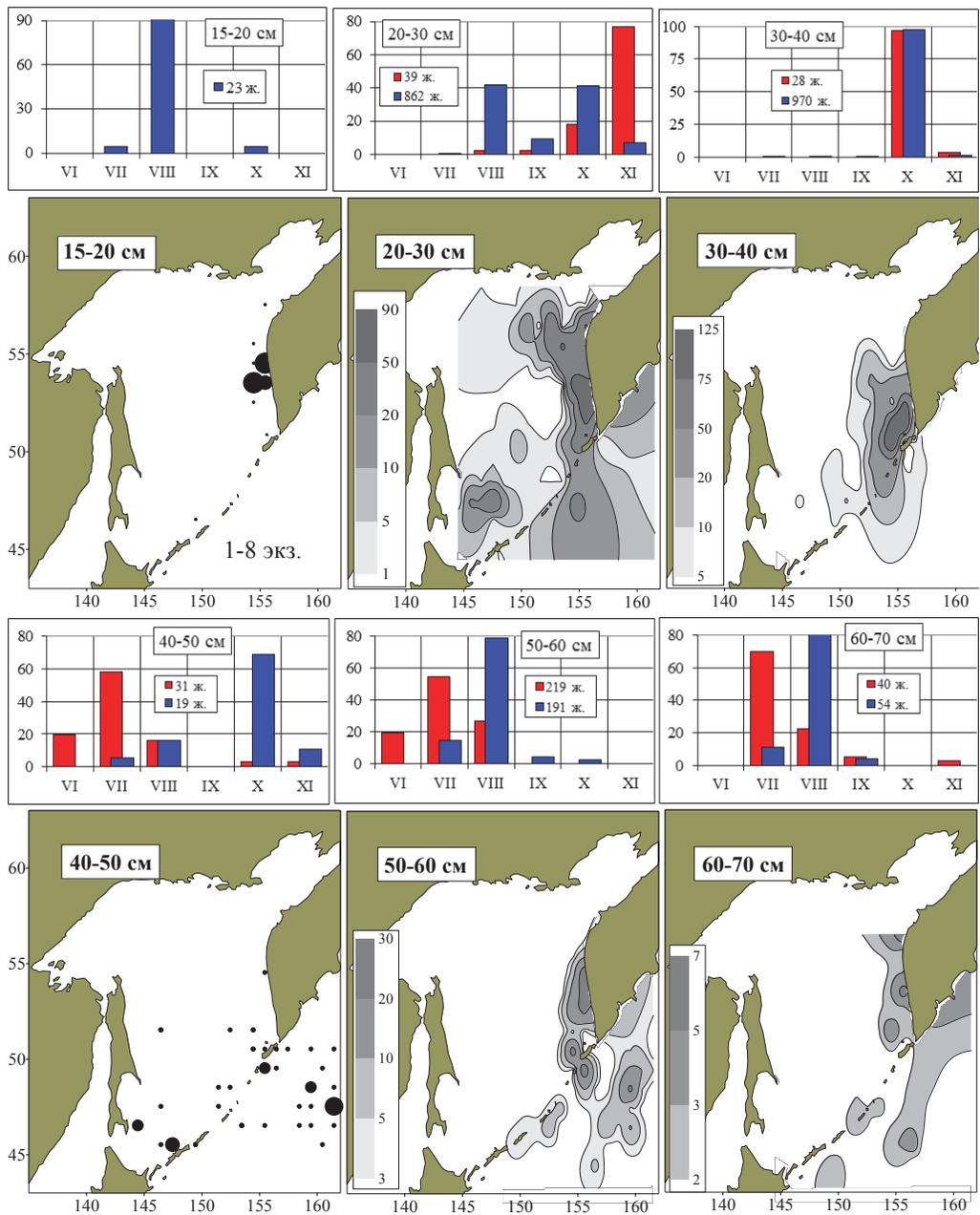


Рис. 14. Распределение количества желудков размерных групп кижуча
 Fig. 14. Distribution of the number of sampled stomachs, by size groups of coho salmon

западной Камчатки и ЮКР, причем длится это достаточно короткое время (см. графики на рис. 11–16).

Расчет потребления массовых групп и видов зоопланктона, доминирующих в пище горбуши, кеты и нерки. Прилагаемые ниже табл. 9–11 имеют прикладной характер и предназначены для расчета потребления массовых групп и видов зоопланктона, доминирующих в пище горбуши, кеты и нерки, для чего все содержимое таблиц от «Сорерода» до «Нектон» включительно следует перемножить на итоговый результат оценки в тоннах, полученный в отдельных рейсах или рассчитанный для какого-либо периода (сутки, декада и т.п.). Итоговый результат будет выражен в килограммах, который также легко перевести в тонны или тысячи тонн.

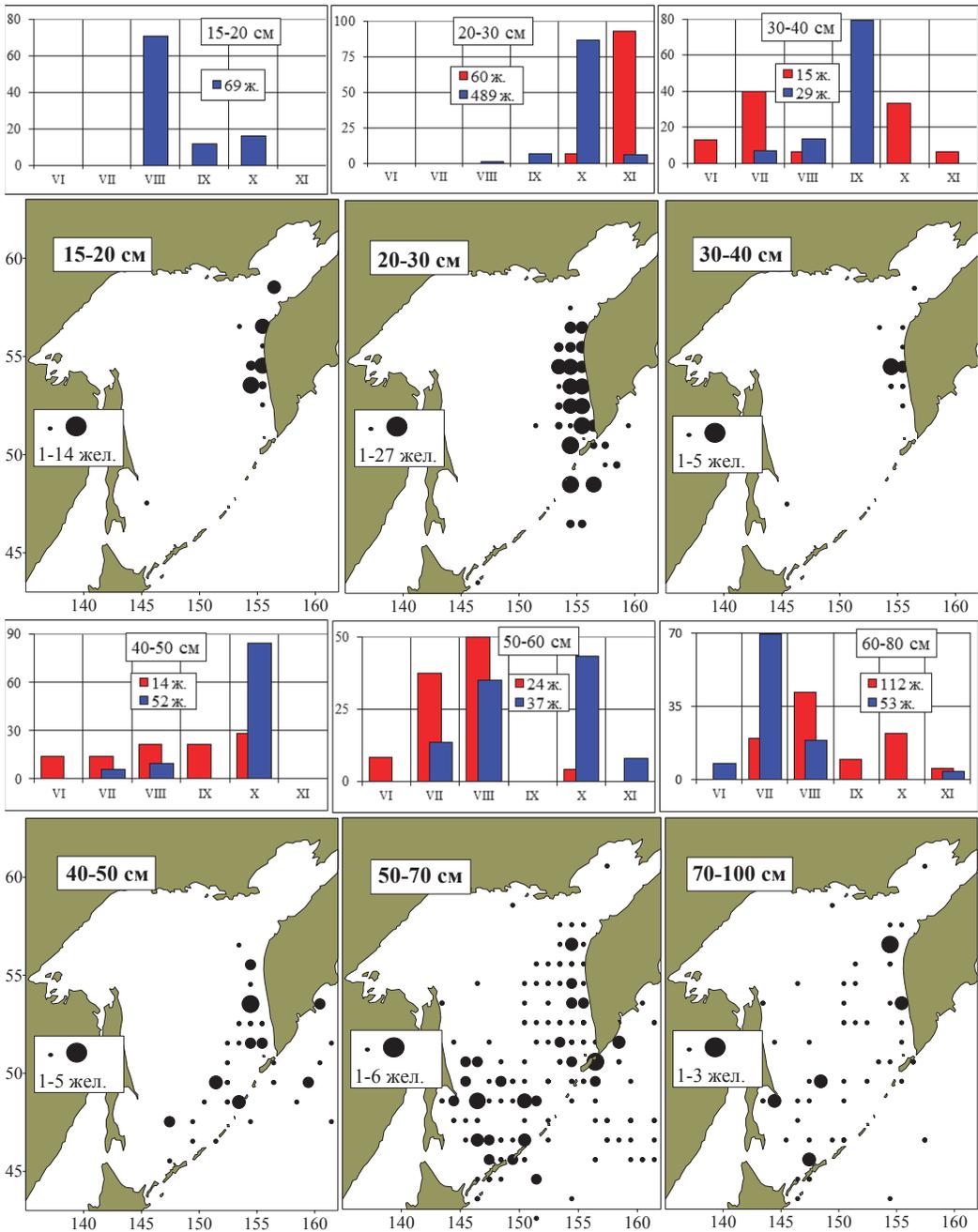


Рис. 15. Распределение количества желудков размерных групп чавычи
 Fig. 15. Distribution of the number of sampled stomachs, by size groups of chinook salmon

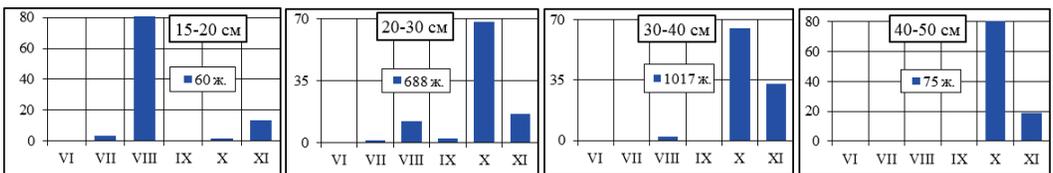


Рис. 16. Помесячное распределение количества желудков размерных групп симы в Охотском море, %
 Fig. 16. Monthly distribution of the number of stomachs sampled in the Okhotsk Sea, by size groups of masu salmon (%)

Таблица 9

СПР 1 т каждого размерного класса горбуши Охотского моря
(здесь и далее: последние 3 строки в таблице имеют справочный характер), кг

Table 9

Daily food ration for 1 ton of each size class of pink salmon in the Okhotsk Sea
(hereinafter: the last 3 lines in the table are for reference only), kg

Состав пищи горбуши	Размерные классы, см					
	10–15	15–20	20–30	30–40	40–50	50–60
СПР для 1 т рыбы, кг	76	65	54	46	40	32
Соперода	29,9	17,3	5,3	17,1	6,9	1,3
<i>Neocalanus plumchrus</i>	29,1	13,7	3,7	0,2	0,2	0,2
<i>N. cristatus</i>	0,1	3,7	1,4	16,4	5,9	1,1
Euphausiacea	6,5	10,0	13,7	10,7	14,4	13,5
Furcilia	2,4	1,0	0,3	0,2	0,5	0,1
<i>Thysanoessa longipes</i>	3,8	5,4	10,0	8,8	11,5	9,9
<i>Th. raschii</i>	0,4	2,4	1,5	0,2	0,3	0,4
<i>Euphausia pacifica</i>	0,0	1,4	2,0	1,7	2,3	3,1
Amphipoda	12,2	22,2	23,7	8,1	8,4	6,8
<i>Themisto pacifica</i>	10,6	15,2	13,0	6,2	7,2	6,0
<i>Primno macropa</i>	1,8	3,3	9,7	2,0	1,0	0,7
Larvae Decapoda	1,9	0,4	0,7	0,2	0,2	0,5
Pteropoda (<i>Limacina helicina</i>)	2,7	5,6	2,6	2,0	3,7	2,3
Chaetognatha (<i>Sagitta elegans</i>)	0,1	4,8	3,6	2,6	1,2	0,1
Рыбы+Кальмары	9,9	4,1	2,1	3,5	4,9	6,9
<i>Clupea pallasii</i> (лич.)	7,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Gadus chalcogrammus</i> (лич.)	3,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1
Прочие	12,9	0,7	2,2	1,8	0,4	0,6
Планктон	75,7	60,9	51,9	42,5	35,1	25,1
Нектон	0,3	4,1	2,1	3,5	4,9	6,9
Месячный рацион 1 т рыб, кг	2280	1950	1620	1380	1200	960
ИНЖ, ‰	284	165	108	93	81	62
Масса тела, г	19	67	170	484	1271	1893
Кол-во рыб в 1 т, экз.	52632	14925	5882	2066	787	528

Таблица 10

СПР 1 т каждого размерного класса кеты Охотского моря, кг

Table 10

Daily food ration for 1 ton of each size class of chum salmon in the Okhotsk Sea, kg

Состав пищи кеты	Размерные классы, см							
	10–15	15–20	20–30	30–40	40–50	50–60	60–70	70–80
СПР для 1 т рыбы, кг	80	66	52	34	30	28	22	19
Соперода	35,8	9,9	5,2	2,0	1,0	0,2	0,2	0,1
<i>Neocalanus plumchrus</i>	35,8	7,5	3,4	0,6	0,6	0,2	0,1	0,1
<i>N. cristatus</i>	0,0	1,8	1,6	1,4	0,4	0,0	0,0	0,0
Euphausiacea	2,8	13,7	9,4	5,4	5,5	7,4	4,8	5,4
Furcilia	0,6	0,7	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Thysanoessa longipes</i>	1,8	9,2	5,3	3,9	3,5	4,0	2,7	2,2
<i>Th. raschii</i>	0,0	2,3	1,4	0,4	1,2	0,8	0,4	0,2
<i>Euphausia pacifica</i>	0,3	1,5	1,9	0,4	0,5	0,1	0,2	0,6
Mysidacea	1,4	1,6	1,4	0,2	0,1	0,0	1,7	0,0
Amphipoda	30,5	22,7	19,0	17,4	12,3	4,2	0,4	1,2
<i>Themisto pacifica</i>	27,1	14,8	11,3	13,1	7,6	3,6	1,4	1,0
<i>Th. libellula</i>	0,0	0,9	0,3	0,5	0,3	0,1	0,1	0,0
<i>Primno macropa</i>	3,5	7,0	7,4	3,8	4,4	0,5	0,1	0,2

Окончание табл. 10
Table 10 finished

Состав пищи кеты	Размерные классы, см							
	10–15	15–20	20–30	30–40	40–50	50–60	60–70	70–80
Decapoda (лич.)	0,4	0,3	0,5	0,3	0,7	0,2	3,8	0,0
Pteropoda	1,5	3,9	2,5	0,9	4,5	4,5	0,0	2,6
<i>Clione limacina</i>	1,3	1,4	0,4	0,6	2,4	3,0	2,8	1,3
<i>Limacina helicina</i>	0,2	2,5	2,1	0,3	2,1	1,4	1,0	1,2
Coelenterata	0,0	0,1	0,5	0,7	1,3	2,0	2,2	2,6
<i>Beroe cucumis</i>	0,0	0,0	0,3	0,2	0,7	1,5	1,6	1,8
<i>Aglantha digitale</i>	0,0	0,1	0,2	0,5	0,6	0,5	0,5	0,8
Chaetognatha (<i>S. elegans</i>)	7,6	7,1	6,5	0,8	0,3	0,2	0,1	0,0
Tunicata (<i>Oikopleura</i> sp.)	0,0	5,4	6,3	0,2	0,9	4,6	0,8	0,0
Кальмары	0,0	0,2	0,4	3,8	2,1	1,6	0,9	0,8
Рыбы	0,0	1,2	0,4	2,3	1,4	3,1	7,3	6,3
Планктон	80,0	64,6	51,2	27,9	26,5	23,3	13,9	11,9
Нектон	0,0	1,4	0,8	6,1	3,5	4,7	8,2	7,1
Месячный рацион 1 т рыб, кг	2400	1980	1560	1020	900	840	660	570
ИНЖ, ‰	275	185	127	85	60	55	49	42
Масса тела, г	18	72	148	540	1258	2247	3518	5166
Кол-во рыб в 1 т, экз.	55556	13889	6757	1852	795	445	284	194

Таблица 11

СПР 1 т каждого размерного класса нерки Охотского моря, кг

Table 11

Daily food ration for 1 ton of each size class of sockeye salmon in the Okhotsk Sea, kg

Состав пищи нерки	Размерные классы, см					
	15–20	20–30	30–40	40–50	50–60	60–70
СПР для 1 т рыбы, кг	73	66	61	38	28	26
Copepoda	18,2	7,3	4,5	1,2	2,1	1,0
<i>Neocalanus plumchrus</i>	10,1	4,7	0,0	0,1	0,1	0,0
<i>N. cristatus</i>	4,7	2,2	0,5	0,8	1,2	0,7
<i>Eucalanus bungii</i>	1,8	0,3	4,0	0,4	0,7	0,3
Euphausiacea	11,0	22,1	12,8	12,1	8,6	11,3
<i>Thysanoessa longipes</i>	3,4	9,7	3,3	5,1	6,4	10,5
<i>Th. raschii</i>	7,0	7,2	1,5	4,3	0,2	0,0
<i>Euphausia pacifica</i>	0,0	3,8	3,8	2,2	0,5	0,7
Mysidacea	2,4	8,8	0,1	0,0	0,0	0,0
Amphipoda	24,5	19,7	30,0	14,6	8,6	5,4
<i>Themisto pacifica</i>	16,8	9,1	28,0	12,8	7,9	5,2
<i>Primno macropa</i>	5,3	1,7	1,8	1,6	0,6	0,3
Decapoda (larvae)	2,9	1,3	0,9	1,0	0,3	0,0
Pteropoda (<i>L. helicina</i>)	8,9	5,2	9,8	4,9	2,6	1,6
Chaetognatha (<i>S. elegans</i>)	7,9	7,6	3,1	0,2	0,0	0,0
Tunicata (<i>Oikopleura</i> sp.)	0,0	3,1	0,6	0,0	0,0	0,0
Кальмары	0,0	0,2	2,4	3,7	5,1	1,2
Рыбы	0,6	0,3	0,5	1,4	1,2	5,8
Планктон	72,9	66,0	61,8	34,1	22,3	19,3
Нектон	0,6	0,2	0,0	0,6	0,8	5,8
Месячный рацион 1 т рыб, кг	2190	1980	1830	1140	840	780
ИНЖ, ‰	163	89	52	46	33	37
Масса тела, г	77	177	498	1234	2028	3225
Кол-во рыб в 1 т, экз.	12987	5650	2008	810	493	310

Заключение

По материалам данных базы «Трофология» за 1990–2023 гг. исследованы характеристики питания лососей с учетом календарных сроков и пространственной локализации их размерных классов. Были определены доминирующие в пище лососей виды и группы конкретных пищевых объектов и их доступность по времени и глубине обитания. Установлено единообразие суточной ритмики питания лососей для всех размерных групп, а также время (месяцы) максимальных концентраций размерных групп лососей, чтобы можно было выделять участки и периоды наиболее активного потребления основных видов пищи и в дальнейшем привязывать их кормовую базу к конкретным промежуткам времени (месяцам), что может служить «трофологическим календарем».

Рассчитаны СПР, составлена таблица значений СПР для всех видов лососей и размерных групп, которая показывает сходство с показателями Берингова моря, а несходство в предпочтениях к видам пищи, вероятно, является следствием разницы в структуре планктонного сообщества.

Предложены прикладные таблицы, пригодные для количественных расчетов тотального потребления пищи размерными группами лососей с преимущественным питанием зоопланктоном, т.е. горбуши, кеты и нерки.

В 2024 г., согласно прогнозу (сайт *vniro.ru*), вылов лососей по Дальневосточному бассейну по сравнению с 2023 г. снизится примерно вдвое и прежде всего за счет горбуши, но все же ее доля в общем вылове лососей должна быть более 50 %. Логично ожидать пропорционального снижения пресса лососей на планктонное сообщество верхней эпипелагиали, которое в дневное время составляет основу их кормовой базы, но в это время имеет наиболее низкие суточные показатели.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Всем участникам экспедиций, в которых были собраны и обработаны материалы, объединенные в базы данных ТИНРО.

The author is thankful to all colleagues who collected and processed the materials on zooplankton and feeding of salmon in marine expeditions, combined in the TINRO databases.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The study was not sponsored.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Автор заявляет, что у него нет конфликта интересов. Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с использованием животных в качестве объекта.

The author declares that he has no conflict of interest. This article does not concern any research with using animals as a subject.

Список литературы

Беляев В.А., Канзепарова А.Н. Итоги лососевой путины в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне в 2022 г. // Бюл. № 17 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО, 2023. — С. 3–12. DOI: 10.26428/losos_bull17-2023-3-12. EDN: RMSXDP.

Волков А.Ф. Возможности и приемы при работе с базами данных ТИНРО «Зоопланктон северной части Тихого океана, Охотского, Берингова и Чукотского морей», «Трофология нектона» и «Морская биология» // Изв. ТИНРО. — 2019. — Т. 198. — С. 239–261. DOI: 10.26428/1606-9919-2019-198-239-261.

Волков А.Ф. Желетелые в пище тихоокеанских лососей // Бюл. № 16 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО, 2022. — С. 37–45. DOI: 10.26428/losos_bull16-2022-37-45.

Волков А.Ф. Методика сбора и обработки планктона и проб по питанию нектона (пошаговые инструкции) // Изв. ТИНРО. — 2008. — Т. 154. — С. 405–416.

Волков А.Ф. Особенности питания горбуши, кеты и нерки во время анадромных миграций // Изв. ТИНРО. — 1994. — Т. 116. — С. 128–136.

Волков А.Ф. Элементарная трофология тихоокеанских лососей в Беринговом море. Видовые и региональные отличия. Обеспеченность пищей при различных условиях среды // Изв. ТИНРО. — 2016. — Т. 187. — С. 162–186. DOI: 10.26428/1606-9919-2016-187-162-186.

Волков А.Ф., Косенок Н.С. Единообразие суточной ритмики питания у лососей рода *Oncorhynchus* // Вопр. рыб-ва. — 2005. — Т. 6, № 2(22). — С. 200–210.

Волков А.Ф., Косенок Н.С. Суточная ритмика питания горбуши, кеты и кижуча в северо-западной части Тихого океана (3-суточная станция, 21.07–24.07.2006 г., 48°28' с.ш., 159°01' в.д.) // Бюл. № 1 реализации «Концепции дальневосточной бассейновой программы изучения тихоокеанских лососей». — Владивосток : ТИНРО-центр, 2006. — С. 151–154.

Канзепарова А.Н., Ваизова И.А., Никифоров А.И., Беляев В.А. Итоги лососевой путины в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне в 2023 г. // Бюл. изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО, 2024. — № 18. — С. 3–18. DOI: 10.26428/losos_bull18-2024-3-18. EDN: BVDOAV.

Темных О.С., Шевляков Е.А., Канзепарова А.Н. Дальневосточная лососевая путина — 2019 // Бюл. № 14 изучения лососей на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2019. — С. 3–22.

Чучукало В.И. Питание и пищевые отношения нектона и нектобентоса в дальневосточных морях : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2006. — 484 с.

Шевляков Е.А., Канзепарова А.Н., Шевляков В.А. и др. Итоги лососевой путины в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне в 2020 г., перспективы вылова горбуши в 2021 г. // Бюл. № 15 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО, 2020. — С. 3–16.

Шунтов В.П., Волков А.Ф., Абакумов А.И. и др. Состав и современное состояние сообществ рыб эпипелагиали Охотского моря // Вопр. ихтиол. — 1990. — Т. 30, вып. 4. — С. 587–597.

Шунтов В.П., Волков А.Ф., Ефимкин А.Я. Состав и современное состояние сообщества рыб пелагиали западной части Берингова моря // Биол. моря. — 1988а. — № 2. — С. 56–65.

Шунтов В.П., Волков А.Ф., Ефимкин А.Я. Состав и современное состояние сообщества рыб пелагиали тихоокеанских вод Камчатки и Курильских островов // Биол. моря. — 1988б. — № 4. — С. 54–62.

Шунтов В.П., Темных О.С. Дальневосточная лососевая путина—2016: хорошие результаты, успехи и ошибки в прогнозах и традиционный провал ВНИРО на путях объявленных им инновационных прорывов в прогнозировании численности и уловов рыб // Бюл. № 11 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2016. — С. 3–13.

Шунтов В.П., Темных О.С. Дальневосточная лососевая путина—2017 через призму политики и соответствия теории и практике // Бюл. № 12 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2017. — С. 3–14.

Шунтов В.П., Темных О.С. Дальневосточная лососевая путина—2018: абсолютный исторический рекорд, обеспеченный камчатской горбушей // Бюл. № 13 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2018. — С. 3–13.

Шунтов В.П., Темных О.С. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2008. — Т. 1. — 481 с.

Шунтов В.П., Темных О.С. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2011. — Т. 2. — 473 с.

Walker R.V., Sviridov V.V., Urawa Sh., Azumaya T. Spatio-temporal variation in vertical distribution of Pacific salmon in the ocean // NPAFC Bull. — 2007. — № 4. — P. 193–201.

References

Belyaev, V.A. and Kanzeperova, A.N., Results of salmon fishery in the Far-Eastern fishery basin in 2022, in *Bull. no. 17 izucheniya tikhookeanskikh lososei na Dal'nem Vostoke* (Bull. No. 17 Study of Pacific Salmon in the Far East), Vladivostok: TINRO, 2023, pp. 3–12. doi 10.26428/losos_bull17-2023-3-12. EDN: RMSXDP.

Volkov, A.F., Opportunities and techniques of using the databases of TINRO “Zooplankton of the north Pacific, Okhotsk, Bering, and Chukchi Seas”, “Nekton trophology”, and “Marine biology”, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2019, vol. 198, pp. 239–261. doi 10.26428/1606-9919-2019-198-239-261

Volkov, A.F., Jellyfish in Pacific salmon food, in *Byull. no. 16 izucheniya tikhookeanskikh lososei na Dal'nem Vostoke* (Bull. No. 16 Study of Pacific Salmon in the Far East), Vladivostok: TINRO, 2022, pp. 37–45. doi 10.26428/losos_bull16-2022-37-45

Volkov, A.F., Technique of collecting and processing the samples of plankton and the samples on nekton feeding (step-by-step instructions), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2008, vol. 154, pp. 405–416.

Volkov, A.F., Features of pink, chum and sockeye salmon feeding habits during the anadromous migrations, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1994, vol. 116, pp. 128–136.

Volkov, A.F., Elementary trophic ecology of pacific salmon in the Bering Sea. Species and regional differences. Provision with food in different environments, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2016, vol. 187, pp. 162–186. doi 10.26428/1606-9919-2016-187-162-186

Volkov, A.F. and Kosenok, N.S., Similarity of Diurnal rhythms of Pacific Salmon feeding, *Vopr. Rybolov.*, 2005, vol. 6, no. 2, pp. 200–210.

Volkov, A.F. and Kosenok, N.S., Daily rhythm of feeding of pink salmon, chum salmon and coho salmon in the northwestern Pacific Ocean (3-day station, July 21–24 July 2006, 48°28' N, 159°01' E), *Byull. no. 1 realizatsii "Kontseptsii dal'nevostochnoi basseinovoi programmy izucheniya tikhookeanskikh lososei"* (Bull. No. 1 Implementation "Concept of the Far Eastern Basin Program for the Study of Pacific Salmon"), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2006, pp. 151–154.

Kanzeparova, A.N., Vaizova, I.A., Nikiforov, A.I., and Belyaev, V.A., Results of salmon fishery in the Far-Eastern fishery basin in 2023, *Bulletin on the study of Pacific salmon in the Far East*, Vladivostok: TINRO, 2024, no. 18, pp. 3–18. doi 10.26428/losos_bull18-2024-3-18. EDN: BVDOAV.

Temnykh, O.S., Shevlyakov, E.A., and Kanzeparova, A.N., Far Eastern Salmon Fishing Season 2019, in *Byull. N 14 izucheniya tikhookeanskikh lososei na Dal'nem Vostoke* (Bull. No. 14 Study of Pacific Salmon in the Far East), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2019, pp. 3–22.

Chuchukalo, V.I., *Pitanie i pishchevye otnosheniya nektona i nektobentosa v dal'nevostochnykh moryakh* (Diet and Feeding Interactions among Nekton and Nektobenthos in the Far Eastern Seas), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2006.

Shevlyakov, E.A., Kanzeparova, A.N., Shevlyakov, V.A., Somov, A.A., and Starovoirov, A.N., The results of the salmon season in the Far Eastern fishery basin in 2020, the prospects for the catch of pink salmon in 2021, in *Byull. N 15 izucheniya tikhookeanskikh lososei na Dal'nem Vostoke* (Bull. No. 15 for the Study of Pacific Salmon in the Far East), Vladivostok: TINRO, 2020, pp. 3–16.

Shuntov, V.P., Volkov, A.F., Abakumov, A.I., Shvydkij, G.V., Temnych, O.S., Vdovin, A.N., Startsev, A.N., and Shebanova, M.A., The composition and present state of epipelagic fish communities in the Sea of Okhotsk, *Vopr. Ikhtiol.*, 1990, vol. 30, no. 4, pp. 587–597.

Shuntov, V.P., Volkov, A.F., and Efimkin, A.Ya., The composition and current state of the pelagic fish community in the western part of the Bering Sea, *Sov. J. Mar. Biol.*, 1988, vol. 14, no. 2, pp. 56–65.

Shuntov, V.P., Volkov, A.F., and Efimkin, A.Ya., The composition and current state of the Pacific Pelagial fish community in Kamchatka and the Kuril Islands, *Sov. J. Mar. Biol.*, 1988, vol. 14, no. 4, pp. 54–62.

Shuntov, V.P. and Temnykh, O.S., Far Eastern Salmon Fishing Season-2016: Good results, successes and errors in forecasts, and the traditional failure of VNIRO on the ways of the announced by it innovative breakthroughs in forecasting the fish abundance and catch sizes, in *Byulleten' no. 11 izucheniya tikhookeanskikh lososei na Dal'nem Vostokie* (Bulletin No. 11 for the Study of Pacific Salmon in the Far East), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2016, pp. 3–13.

Shuntov, V.P. and Temnykh, O.S., Far Eastern Salmon Fishing Season-2017 through the prism of policy and compliance with theory and practice, in *Byulleten' no. 12 izucheniya tikhookeanskikh lososei na Dal'nem Vostokie* (Bulletin No. 12 for the Study of Pacific Salmon in the Far East), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2017, pp. 3–14.

Shuntov, V.P. and Temnykh, O.S., *Dal'nevostochnaya lososevaya putina–2018: absolyutnyy istoricheskiy rekord, obespechenny kamchatskoy gorbushey*, in *Byulleten' no. 13 izucheniya tikhookeanskikh lososei na Dal'nem Vostokie* (Bulletin no. 13 for the Study of Pacific Salmon in the Far East), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2018, pp. 3–13.

Shuntov, V.P. and Temnykh, O.S., *Tikhookeanskije lososi v morskikh i okeanicheskikh ekosistemakh* (Pacific Salmon in Marine and Ocean Ecosystems), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2008, vol. 1.

Shuntov, V.P. and Temnykh, O.S., *Tikhookeanskije lososi v morskikh i okeanicheskikh ekosistemakh* (Pacific Salmon in Marine and Ocean Ecosystems), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2011, vol. 2.

Walker, R.V., Sviridov, V.V., Urawa, Sh., and Azumaya, T., Spatio-temporal variation in vertical distribution of Pacific salmon in the ocean, *NPAFC Bull.*, 2007, no. 4, pp. 193–201.

Поступила в редакцию 11.06.2024 г.

После доработки 13.08.2024 г.

Принята к публикации 13.09.2024 г.

The article was submitted 11.06.2024; approved after reviewing 13.08.2024; accepted for publication 13.09.2024

Научная статья

УДК 597.552.511:57.087.3

DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-705-721

EDN: SJRXIS



ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ И СПОСОБЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ АВТОМАТИЗАЦИИ БЕСПИЛОТНОГО УЧЕТА ТИХООКЕАНСКИХ ЛОСОСЕЙ В ОХОТСКОМ РАЙОНЕ ХАБАРОВСКОГО КРАЯ

Д.В. Коцюк, В.В. Свиридов, А.Ю. Поваров*
Хабаровский филиал ВНИРО (ХабаровскНИРО),
680038, г. Хабаровск, Амурский бульвар, 13а

Аннотация. Описан опыт беспилотного учета тихоокеанских лососей в реках Охотского района Хабаровского края в 2021–2023 гг. Приведены оценки плотности нерестовых бугров и производителей на контрольных участках и рассмотрены перспективы использования данных показателей в целях информационного обеспечения задач прогнозирования. Проанализирована специфика беспилотного учета тихоокеанских лососей, предложены варианты дальнейшего развития методики. Учитывая, что описанный вариант беспилотного учета подходит лишь для информационного обеспечения задач прогнозирования, даны рекомендации по его модификации в целях применимости для сопровождения путины и инвентаризации нерестилищ. На основе полученного опыта и литературных сведений рассмотрены способы дальнейшей автоматизации беспилотного учета тихоокеанских лососей. Предлагаемые подходы к автоматизации структурированы для ключевых этапов: планирования пространственного покрытия, аэрофотосъемки, фотограмметрической обработки, векторизации, расчета численности. Показаны особенности автоматизации в зависимости от целей учета: информационного обеспечения задач прогнозирования, сопровождения путины или инвентаризации нерестилищ. Автоматизация учета должна основываться на стыкуемости и взаимной сбалансированности применяемых подходов на разных этапах учета.

Ключевые слова: тихоокеанские лососи, БПЛА, фотограмметрия, ГИС, векторизация, автоматизация, искусственный интеллект

Для цитирования: Коцюк Д.В., Свиридов В.В., Поваров А.Ю. Опыт реализации и способы дальнейшей автоматизации беспилотного учета тихоокеанских лососей в Охотском районе Хабаровского края // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 3. — С. 705–721. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-705-721. EDN: SJRXIS.

* Коцюк Денис Владимирович, кандидат биологических наук, руководитель филиала, kotsyuk@khabarovsk.vniro.ru, ORCID 0000-0002-7123-1792; Свиридов Владимир Владимирович, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, vladimir.sviridov.1974@yandex.ru, ORCID 0000-0002-6060-1532; Поваров Андрей Юрьевич, старший специалист, povarov@khabarovsk.vniro.ru, ORCID 0009-0000-7664-7458.

© Коцюк Д.В., Свиридов В.В., Поваров А.Ю., 2024

Experience of implementation and approaches for further automation in unmanned aerial counting of pacific salmon in the Okhotsk district of Khabarovsk Region

Denis V. Kotsyuk*, Vladimir V. Sviridov**, Andrey Yu. Povarov***

*—*** Khabarovsk branch of VNIRO (KhabarovskNIRO),

13a, Amursky Boulevard, Khabarovsk, 680038, Russia

* Ph.D., head, kotsyuk@khabarovsk.vniro.ru, ORCID 0000-0002-7123-1792

** Ph.D., leading researcher, vladimir.sviridov.1974@yandex.ru, ORCID 0000-0002-6060-1532

*** senior specialist, povarov@khabarovsk.vniro.ru, ORCID 0009-0000-7664-7458

Abstract. Unmanned aerial counting of pacific salmon in the rivers of the Okhotsk district (Khabarovsk Region) in 2021–2023 is analyzed. Estimates of the spawning redds number and the spawners abundance are presented for the monitoring sites. Prospects for using these indices for forecasting the stocks are discussed. Specifics of unmanned counting are considered, and options for further development of the methodology are proposed. The method of unmanned counting is suitable for information support of the stock forecasts only, but can be modified for application in fishery management and spawning grounds inventory. Possibilities for further automation in the unmanned counting of pacific salmon are considered on the base of the authors' experience and literature information. Proposed approaches to automation are outlined for key stages of unmanned counting, as spatial coverage planning, aerial photography acquisition, photogrammetric processing, vectorization, and abundance estimation. Features of the automation implementation depend on purposes of the counting and are different for the stock forecasting, fishery management, and spawning grounds inventory. Adequate automation should be based on ensuring consistency and mutual balance of approaches used at different stages of the counting.

Keywords: pacific salmon, unmanned aerial vehicle (UAV), photogrammetry, geoinformation system (GIS), vectorization, automation, artificial intelligence

For citation: Kotsyuk D.V., Sviridov V.V., Povarov A.Yu. Experience of implementation and approaches for further automation in unmanned aerial counting of pacific salmon in the Okhotsk district of Khabarovsk Region, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 3, pp. 705–721. (In Russ). DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-705-721. EDN: SJRXIS.

Введение

Беспилотные технологии ввиду своей эффективности все активнее применяются рыбохозяйственными учеными для изучения водных биоресурсов (ВБР) в целом и тихоокеанских лососей в частности [Запорожец и др., 2020; Raoult et al., 2020; Дуленин и др., 2021]. Для тихоокеанских лососей описаны различные подходы к беспилотному учету и их результаты [Запорожец, Запорожец, 2017; McKenna et al., 2019; Свиридов и др., 2022а, б; Auerbach, Fremier, 2023]. Своевременная публикация подобных сведений важна для дальнейшего совершенствования технологии беспилотного учета тихоокеанских лососей, ее ускоренного внедрения.

Технологическая многовариантность беспилотного учета тихоокеанских лососей, необходимость его удешевления, упрощения и ускорения обуславливают актуальность дальнейшего совершенствования применяемых подходов, в том числе посредством автоматизации, т.е. уменьшения ручной (неавтоматизированной) работы за счет увеличения применения технических и программных средств. Определенная степень автоматизации беспилотного учета тихоокеанских лососей в Хабаровском крае была достигнута ранее посредством программного обеспечения (ПО) для автоматической (с минимальным участием оператора) съемки и фотограмметрической обработки снимков, а также применения геоинформационных систем (ГИС) для векторизации, анализа и представления результатов [Свиридов, Золотухин, 2020; Свиридов и др., 2022а, б].

Настоящая работа ставила целью описание опыта реализации беспилотного учета тихоокеанских лососей в реках Охотского района Хабаровского края, рассмотрение

перспектив использования полученных сведений в целях информационного обеспечения задач прогнозирования и выработку рекомендаций по дальнейшей автоматизации беспилотного учета этих видов рыб методами фотограмметрии, технологий ГИС и искусственного интеллекта (ИИ).

Материалы и методы

Работы по беспилотному учету тихоокеанских лососей в реках Охотского района в 2021–2023 гг. проводили на основе опубликованных методических подходов [Свиридов, Золотухин, 2020; Свиридов и др., 2022а, б]. Съемку с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) выполняли в период с августа по октябрь 2021–2023 гг. в бассейне рек Американ, Андыч, Кухтуй, Охота, Толмот, Улья, Урак и Чильчикан. По сложившейся практике для информационного обеспечения задач прогнозирования запасов тихоокеанских лососей и сопровождения путины нередко используются оценки численности производителей не по всему нерестовому водоему, а на контрольных участках в его границах [Irvine et al., 1992; Gallagher, Gallagher, 2005; Шевляков и др., 2019]. Данный подход был применен нами для учета производителей в реках Охотского района на контрольных участках — отобранных сегментах водотока, включавших одно и более нерестилищ. В качестве контрольных отбирались участки, на которых регулярно, согласно имеющимся архивным и опросным сведениям, отмечается нерест кеты и горбуши, составляющих подавляющую часть вылова тихоокеанских лососей в Охотском районе (рис. 1).



Рис. 1. Расположение контрольных участков, обследованных с помощью БПЛА в 2021–2023 гг. в Охотском районе Хабаровского края

Fig. 1. Location of monitoring sites surveyed using UAV in 2021–2023 in the Okhotsk district of Khabarovsk Region

Объем беспилотных учетных работ на контрольных участках представлен в табл. 1. Ввиду материально-технических ограничений учет проводили разово, по возможности на завершающих этапах нереста соответствующего вида в реках Охотского района: в конце августа — начале сентября по горбуше, конце сентября — начале октября по кете. В 2021 г. беспилотный учет не получилось приурочить к завершающим этапам нереста, поэтому плотности на контрольных участках для этого года не рассматриваются.

Объем беспилотных учетных работ на контрольных участках в реках Охотского района Хабаровского края в 2021–2023 гг.

Volume of unmanned aerial surveys at monitoring sites in the rivers of the Okhotsk district of Khabarovsk Region in 2021–2023

Год	Река	Количество обследований контрольных участков	Количество обследований контрольных участков за год	Протяженность водотоков, качественно визуализированных на аэрофотоснимках, км	Протяженность качественно визуализированных водотоков за год, км
2021	Кухтуй	18	41	33,3	99,8
	Охота	21		62,5	
	Урак	2		4,0	
2022	Американ	1	34	2,1	54,6
	Кухтуй	11		14,2	
	Охота	13		18,4	
	Улья	5		4,9	
	Урак	4		15,0	
2023	Американ	1	45	8,7	130,4
	Андыч	1		8,1	
	Кухтуй	15		36,2	
	Охота	19		41,6	
	Толмот	1		4,3	
	Улья	3		10,6	
	Урак	4		16,3	
	Чильчикан	1		4,6	

Для учета использовали беспилотные летательные аппараты потребительского класса от компании DJI, мобильные устройства для работы с полетным ПО и полевыми ГИС, высокопроизводительные ПК и ноутбуки для фотограмметрической обработки результатов аэросъемки, их векторизации, геоинформационного анализа и картографического представления. Для автоматического выполнения полетных миссий применяли преимущественно полетное ПО Map Pilot Pro. В целях фотограмметрической обработки аэрофотоснимков при создании ортофотопланов и цифровых моделей рельефа (ЦМР) применяли ПО Agisoft Metashape Professional. Геоинформационное ПО Global Mapper и NextGIS QGIS использовали для ортотрансформирования — преобразования отдельных фотографий в ортофотоснимки (грубый аналог ортофотоплана), а также для векторизации ортофотопланов и ЦМР (оцифровки оператором растров путем создания векторных объектов).

Нерестовые бугры (далее — бугры), производителей и сненку оцифровывали на ортофотопланах точечными векторными объектами с учетом видовой принадлежности. Векторизацию бугров производили на основе одновременного визуального анализа ортофотопланов и ЦМР. По производителям и сненке на ортофотоплане проще уточнить видовую принадлежность бугров, тогда как сами бугры обычно лучше визуализируются на ЦМР [Свиридов и др., 2022а]. Для каждого контрольного участка рассчитывали плотности бугров и производителей, выраженные в штуках на километр протяженности водотока. Аналогичный подход к расчету плотности бугров лососевых присутствует в ряде исследований [Ballard, Krueger, 2005; Kazakov et al., 2022]. Вычисление плотности через протяженность, а не через площадь контрольных участков обусловлено тем, что межгодовые различия в водности делают значения относительного обилия, рассчитанные через площадь водотока, менее показательными, чем через его протяженность.

Учет производителей на контрольных участках в силу выборочного характера дает не абсолютные, а индексные оценки обилия. Последующая экстраполяция для получения тотальных величин пропуска основана на сведениях о распределении производителей в речном бассейне и зачастую носит экспертный характер [Neilson, Geen,

1981; Johnson et al., 2007; Шевляков, Маслов, 2011; Шевляков, Шубкин, 2020]. В североамериканских рыбохозяйственных НИИ присутствует практика расчета тотальных величин пропуска тихоокеанских лососей через плотности бугров на контрольных участках, также вычисляемых посредством экстраполяции на весь речной бассейн [Dauble, Watson, 1997; Gallagher, Gallagher, 2005].

Экстраполяционные (пересчетные) коэффициенты как для производителей, так и для бугров основаны на представлениях о доле объектов учета на контрольных участках от общей численности в нерестовом водоеме. Соответственно, для перехода от относительного обилия на контрольных участках к общей численности необходимы сведения о нерестовом фонде. К сожалению, данные сведения зачастую неточны или отсутствуют. В таком случае предлагается рассчитывать экстраполяционные коэффициенты опосредованно, например как отношение общей численности, определенной альтернативными методами, к средней плотности на контрольных участках по данным беспилотного учета [Свиридов и др., 2022a]. Сходный подход реализуется в североамериканских рыбохозяйственных НИИ: экстраполяционные коэффициенты в ряде работ вычисляются по взаимосвязи между пропуском, рассчитанным альтернативным методом, и числом бугров на контрольных участках, учтенных в ходе маршрутных обследований [Johnson et al., 2007; Nugent, Lindsey, 2020]. При этом альтернативный метод должен быть достаточно точным (гидроакустический, аэровизуальный, РУЗ и т.п.), напрямую учитывающим общую численность в бассейне. К сожалению, для 2021–2022 гг. подобные оценки для рек Охотского района отсутствуют, равно как и точные сведения о нерестовом фонде. Это сделало невозможным вычисление экстраполяционных коэффициентов для перехода от полученных плотностей на контрольных участках к тотальным оценкам величины репродуктивной части запаса.

Результаты и их обсуждение

Оценки плотности на контрольных участках и перспективы использования данных показателей в целях информационного обеспечения задач прогнозирования

Оценки плотности бугров и производителей кеты и горбуши на контрольных участках рек Охотского района по данным беспилотного учета приведены в табл. 2.

Как видно из приведенных в табл. 2 данных, для ряда рек отмечены нулевые плотности бугров на всех контрольных участках (Американ, Андыч, Толмот, Улья, Чильчикан — для кеты, Кухтуй, Толмот — для горбуши). Для некоторых из перечисленных водотоков плотности производителей также были нулевыми, однако мигрирующие особи фиксировались беспилотником в ходе разведывательных полетов за пределами контрольных участков. Это свидетельствует о необходимости пересмотра схемы расположения контрольных участков в данных реках. Основой для такого пересмотра может стать инвентаризация нерестилищ соответствующих рек посредством БПЛА промышленного класса со значительным (сотни километров) радиусом автономных работ. К сожалению, беспилотники потребительского класса, доступные для выполнения настоящей работы, ввиду технических ограничений не способны обеспечить тотальный учет нерестовых водотоков [Свиридов и др., 2022a], что и привело к описанным проблемам с показательностью отобранных контрольных участков по ряду рек.

Как следует из данных табл. 2, в межгодовом аспекте в пределах одной реки плотности как бугров, так и производителей не характеризовались резкими различиями. Однако для р. Улья отмечены существенные различия относительной численности производителей — 378,4 шт./км в 2022 г. и 1073,4 в 2023 г. Подобного рода выбросы значений объяснимы, так как учет ввиду материально-технических ограничений проводился разово, на завершающих этапах нереста, что делает его менее показательным по плотности производителей, чем по относительной численности бугров. Плотность бугров на контрольных участках является кумулятой нерестовой активности (с ого-

Оценки плотности бугров и производителей кеты и горбуши на контрольных участках рек Охотского района в 2022 и 2023 гг. по данным беспилотного учета, шт./км

Table 2

The spawning redds number and abundance of chum and pink salmon runs (ind./km) to the rivers of the Okhotsk district in 2022 and 2023, on the data of unmanned aerial surveys

Вид	Река	Средняя плотность бугров на контрольных участках		Средняя плотность производителей на контрольных участках	
		2022	2023	2022	2023
Кета	Американ	0	0	1,4	0
	Андыч	–	0	–	0
	Кухтуй	64,5	93,2	193,8	149,2
	Охота	189,6	176,6	897,5	1012,6
	Толмот	–	0	–	0
	Улья	0	0	7,9	46,0
	Урак	35,5	35,3	398,7	465,1
	Чильчикан	–	0	–	0
Горбуша	Американ	9,1	0	54,9	0
	Андыч	–	34,1	–	408,6
	Кухтуй	0	0	0	0
	Охота	0	25,5	0	0
	Толмот	–	0	–	37,1
	Улья	204,8	262,9	378,4	1073,4
	Урак	97,4	73,2	177,2	173,4
	Чильчикан	–	23,2	–	127,6

воркой на возможное перекапывание гнезд), поэтому данный показатель в случае разовой оценки на завершающих этапах нереста более показателен и лучше соотносится с репродуктивной частью запаса, чем относительная численность производителей [Johnson et al., 2007].

Ранее указывалось, что значения плотности на контрольных участках, полученные беспилотниками, могут служить индексом численности подходов в речной бассейн и применяться для межгодовых сравнений в целях информационного обеспечения задач прогнозирования [Свиридов и др., 2022а]. Именно в таком ключе целесообразно использование оценок плотностей на контрольных участках рек Охотского района. Приемлемость применения плотностей бугров и производителей лососей на контрольных нерестилищах просто в качестве индексов обилия как показателей межгодовой динамики численности, без каких-либо пересчетов на тотальный пропуск в соответствующую реку, показана ранее [Maxell, 1999; Isaak et al., 2003].

Беспилотный учет для получения индексов обилия в целях информационного обеспечения задач прогнозирования важен даже в случае параллельного учета альтернативным методом, так как он позволяет получить вспомогательные индексы динамики численности вида и объективизировать учетные работы благодаря архивируемым инструментальным сборам. Вышеописанная невозможность экстраполяции плотностей на весь бассейн в перспективе устранима посредством получения достоверных сведений о нерестовом фонде или проведения параллельного тотального прямого учета по рекам Охотского района. Это позволит получить пересчетные коэффициенты и применить их к накопленным рядам наблюдений по контрольным участкам.

Актуальность автоматизации беспилотного учета тихоокеанских лососей

Автоматизация беспилотного учета насущна для всех целей мониторинга производителей тихоокеанских лососей: информационного обеспечения задач прогнозиро-

вания, сопровождения путины, инвентаризации нерестилиц. При этом она наиболее значима для оценки пропуска производителей в реки в целях сопровождения путины, так как способна повысить оперативность таких работ. Повышение темпов беспилотного учета, достижимое в первую очередь за счет автоматизации, чрезвычайно важно для оперативного принятия своевременных управленческих решений по приведению нагрузки в соответствие с подходами. Автоматизация беспилотного учета необходима также ввиду предельной загруженности профильных специалистов в период массового хода лососей. Она не просто позволит ускорить учет, но и при достаточной простоте реализации даст возможность делегировать часть работ (этапы съемки, фотограмметрической обработки и подсчета объектов методами ИИ) сторонним контрактируемым исполнителям для максимальной разгрузки сотрудников ВНИРО.

Приведенные ниже способы автоматизации отталкиваются от специфики технологической цепочки беспилотного учета и основаны на его ключевых составляющих — планирование пространственного покрытия, аэрофотосъемка, фотограмметрическая обработка аэрофотоснимков, векторизация фотограмметрических продуктов, расчет численности объектов учета [Свиридов и др., 2022a]. Разберем особенности автоматизации каждой из этих составляющих при различных целях мониторинга лососей.

Планирование пространственного покрытия учетных работ

Вследствие ограниченных технических возможностей БПЛА потребительского класса, использованных в Охотском районе, учет был приурочен к компактным (протяженностью до нескольких километров) контрольным участкам. Однако в крупных речных системах такой подход по очевидным причинам неприемлем ввиду нерепрезентативного пространственного покрытия. Здесь учет должен охватывать обширные площади, по которым распределены производители в ходе нерестовой миграции и нереста. Соответственно, для этого требуются БПЛА промышленного класса со значительным (сотни километров) радиусом автономных работ и высокой суточной производительностью.

Использование промышленных беспилотников не позволит обеспечить полное покрытие аэрофотосъемкой всех участков присутствия производителей, так как объем сопряженных работ и глубина анализа собираемой информации на единицу обследуемой площади при беспилотном учете значительно больше, чем при аэровизуальном. Это обусловлено тем, что при беспилотном учете производится не приблизительная экспресс-оценка численности в реальном времени по траектории облета, как при аэровизуальном, а последовательно выполняется ряд ресурсоемких работ (аэрофотосъемка, фотограмметрическая обработка, векторизация).

Проистекающее из выборочности беспилотного учета его существенно меньшее пространственное покрытие компенсируется объективностью, получением конкретных и перепроверяемых сведений в формате отчетных фотоматериалов, адекватно покрывающих обширную область учета. Переход от выборочных оценок численности к тотальным возможен на основании расчета соотношения общей площади акватории с объектами учета к площади акватории, покрытой съемкой, а также анализа нерестового фонда. Данный выборочный характер учета приемлем, так как традиционно применяется для ВБР из-за невозможности тотального покрытия обширных акваторий их распределения [Шунтов, Волвенко, 2016].

В целях наглядного представления планирования пространственного покрытия беспилотного учета приведем диаграмму связей, описывающую его составляющие и этапы, от постановки цели учета до полетных миссий (рис. 2). Для эффективного планирования необходимо отталкиваться от конкретных целей учета и ресурсов для их реализации. Анализ сведений о типичном пространственном распределении объектов учета в конкретном водотоке, технических и кадровых ресурсах, требуемых сроках предоставления отчетности позволяет оценить объем необходимых беспилотных ра-



Рис. 2. Этапы планирования пространственного покрытия беспилотных учетных работ
Fig. 2. Stages of planning the spatial coverage for UAV counting surveys

бот и построить схему станций, адекватно покрывающих область учета. Необходима сбалансированность между пространственным охватом, геометрией и плотностью учетных станций, определяющих объем получаемых фотоматериалов, с одной стороны, и ресурсами для обработки этих сведений в требуемые сроки — с другой.

Анализ пространственного распределения объектов, необходимый при планировании схемы станций, должен быть основан на сведениях о нерестовом фонде, локализации и емкости нерестилищ в бассейне. При недостаточности таковых упреждающая тотальная беспилотная съемка нерестового фонда целевых бассейнов представляется эффективным решением. Сведения данного предваряющего тотального учета позволят качественнее планировать пространственную выборочность последующих работ, проводить пересчет их результатов на общие оценки численности с учетом сведений о доле отснятых участков от всего нерестового фонда.

Другим важным элементом создания схемы станций являются актуальные сведения о береговой линии обследуемой акватории для правильного планирования местоположения и геометрии учетных станций и минимизации присутствия суши на аэрофотоснимках. Находящиеся в открытом доступе космоснимки сверхвысокого разрешения на российские межселенные территории от Mapbox, Google и других провайдеров обновляются редко и потому не могут использоваться для планирования схемы станций при изменчивой морфологии водотоков. Заказ актуальной коммерческой космосъемки дорогостоящ и проблематичен.

Решением может быть самостоятельная или заказная упреждающая беспилотная съемка низкого пространственного разрешения на район работ с целью получения актуальных ортофотопланов для планирования расположения станций. Дополнительным преимуществом такого подхода является возможность получения ЦМР по материалам упреждающей съемки для улучшенного выполнения полетных миссий в будущем — обеспечения нужной высоты полета в целях выдерживания разрешения снимков на местности и повышения безаварийности полетов. ЦМР, в отличие от береговой линии, обычно стабильны в межгодовом плане, что в сочетании с наличием на территории России в открытом доступе лишь низкоточных ЦМР (разрешением не выше 30 м) делает разовое проведение подобной рекогносцировочной беспилотной съемки на район работ весьма актуальной.

Учитывая затратность беспилотной съемки на обширной территории даже в низком разрешении, для ежегодной корректировки схемы станций целесообразнее применять свободно распространяемые космические снимки низкого разрешения (10 м/пикс) семейства спутников Sentinel-2 Европейского космического агентства. Их можно загрузить с сайта проекта Copernicus посредством плагина Semi-Automatic Classification Plugin для настольной ГИС NextGIS QGIS и преобразовать в геопроецированный растр в целях планирования схемы станций. На рис. 3 проиллюстрирована

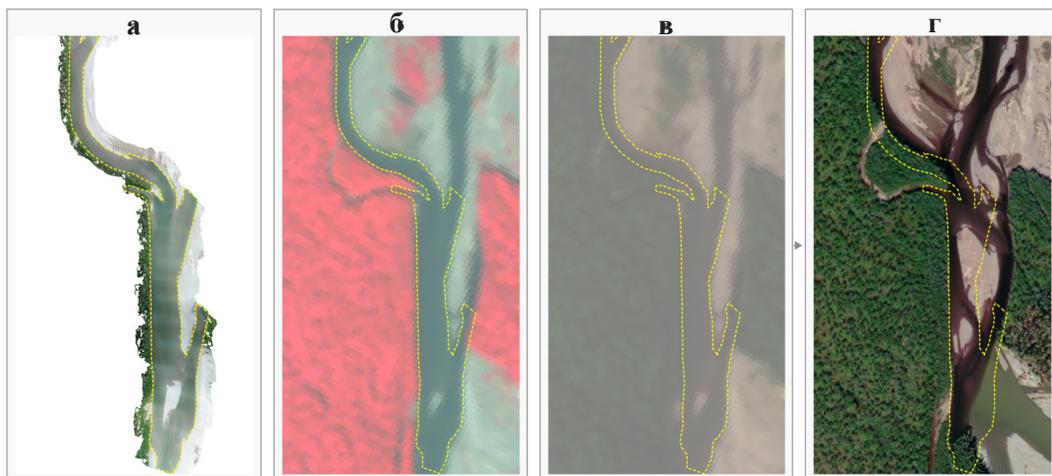


Рис. 3. Геометрия береговой линии фрагмента нижнего течения р. Урак по ортофотоплану от 01.09.2023 (а), космоснимку Sentinel-2 от 06.08.2023 в псевдонатуральной NRG (б) и натуральной RGB комбинации каналов (в), космоснимку Google в открытом доступе (г). Для наглядности контур береговой линии, векторизованный по ортофотоплану, продублирован на космоснимке (*пунктирная линия*)

Fig. 3. Shoreline geometry in the Urak lower reaches on orthomosaic image September 1, 2023 (а), on Sentinel-2 satellite image on August 8, 2023 presented in pseudo-natural NRG (б) and natural RGB combination of channels (в), and on the same satellite image publicly accessible in Google (г). For clarity, the shoreline vectorized using the orthomosaic image is duplicated on satellite images (*dashed line*)

высокая сходимость геометрии береговой линии по ортофотоплану фрагмента нижнего течения р. Урак с космоснимком Sentinel-2, тогда как космоснимком сверхвысокого разрешения от Google характеризуется геометрией береговой линии, весьма отличной от таковой на ортофотоплане. Таким образом, актуальные (близкие по срокам к беспилотному учету) космоснимки Sentinel-2 подходят для оконтуривания области учета в целях планирования схемы станций, чего нельзя сказать о космоснимках сверхвысокого разрешения в открытом доступе.

Космоснимки Sentinel-2 или ортофотопланы низкого разрешения используются в настольной ГИС для создания точечного векторного слоя схемы станций. Полученный векторный слой импортируется в полетное ПО для дополнительной настройки параметров миссии (настройки камеры, высота и скорость беспилотника в момент фотографирования и т.д.). Созданная миссия загружается в беспилотник и автоматически обрабатывается им при минимальном участии оператора. Практически полная автоматизация выполнения полетной миссии ускоряет процесс съемки и разгружает оператора БПЛА, тогда как ручное пилотирование в большинстве случаев не способно обеспечить качественное выполнение сложных полетных миссий.

Автоматизация аэрофотосъемки

При планировании аэрофотосъемки следует отталкиваться от конкретных целей беспилотного учета и ресурсов для их реализации. Схема подбора параметров аэрофотосъемки под различные цели представлена в табл. 3. Цель учета выдвигает требования к материалам аэрофотосъемки, используемым для расчета численности, их пространственно-временному распределению, взаимному перекрытию снимков на учетной станции. Характеристики материалов аэрофотосъемки в свою очередь определяют наиболее подходящий тип БПЛА. На выбор оптимального типа беспилотника могут влиять дополнительные требования к учету, например что в приоритете — оперативность или точность.

Таблица 3

Схема подбора параметров аэрофотосъемки под различные цели беспилотного учета тихоокеанских лососей

Table 3

Scheme for selecting the aerial photography parameters for certain purposes of the pacific salmon UAV counting

Параметр	Цель беспилотного учета			
	Обеспечение прогнозирования через плотности на контрольных участках	Инвентаризация нерестилищ	Обеспечение прогнозирования или сопровождение промысла (в приоритете оперативность учета)	Обеспечение прогнозирования или сопровождение промысла (в приоритете точность учета)
Фотограмметрический продукт, получаемый из снимков на учетной станции	Ортофотоплан, ЦМР	Ортофотоплан, ЦМР	Ортофотоснимки (несколько или единичный)	Ортофотоснимки (несколько или единичный)
Геометрия учетной станции	Серия снимков с высоким пересечением	Серия снимков с высоким пересечением	Серия снимков с низким пересечением или единичный снимок	Серия снимков с низким пересечением или единичный снимок
Наиболее подходящий тип БПЛА	Электрический мультироторный потребительского класса	Бензиновый мультироторный промышленного класса	Электрический самолетный промышленного класса	Бензиновый мультироторный промышленного класса
Смаз	Приемлемый (при условии снижения скорости в момент фотографирования)	Приемлемый (при условии снижения скорости в момент фотографирования)	Избыточный, ухудшающий качество снимков	Приемлемый (при условии снижения скорости в момент фотографирования)
Возможные способы повышения качества снимков для улучшения распознаваемости на них объектов учета	Экспобрекетинг, съемка в формате RAW	Длиннофокусный объектив, экспобрекетинг, съемка в формате RAW	Съемка в формате RAW	Длиннофокусный объектив, экспобрекетинг, съемка в формате RAW
Приемлемость качества снимков для подсчета объектов учета методами ИИ	Да (при условии снижения скорости в момент фотографирования)	Да (при условии снижения скорости в момент фотографирования)	Под вопросом	Да (при условии снижения скорости в момент фотографирования)
Отработка сложной геометрии станции	Да	Да	Нет	Да
Квалификационные требования к оператору БПЛА	Минимальные	Максимальные	Промежуточные	Максимальные
Затраты времени	Минимальные	Максимальные	Промежуточные	Промежуточные. Максимальные при снижении скорости в момент фотографирования

Как видно по данным табл. 3, электрический самолетный БПЛА промышленного класса оптимален для информационного обеспечения задач прогнозирования или сопровождения путины, если в приоритете оперативность учета. Если важнее точность учета, то для этих целей лучше подойдет бензиновый мультироторный беспилотник

промышленного класса. Заметим, что аналогичный подход возможен при инвентаризации нерестилищ: если в приоритете оперативность учета, то может быть использован электрический самолетный БПЛА, а не бензиновый мультироторный беспилотник. Таким образом, предлагаемая схема подбора параметров аэрофотосъемки является вводной, а выбор типа и модели беспилотника можно совершенствовать далее путем учета дополнительной вводной информации. Мотивация при выборе типа БПЛА основана на параметрах его съемки, перечисленных в нижней части табл. 3: величина смаза на снимке, способы повышения качества снимков, возможность применения ИИ для автоматизации подсчета и т.д.

Поясним взаимосвязь между некоторыми параметрами съемки и их влияние на особенности проводимого учета. Если целью является информационное обеспечение задач прогнозирования через оценку плотности бугров на компактных контрольных участках, рассмотренное в настоящей работе на примере учета в Охотском районе, то необходимо высокое пересечение снимков. В противном случае будет невозможно построение ЦМР, полезной для улучшенного учета бугров [Свиридов и др., 2022a]. Получение ЦМР по этим же причинам желательно при инвентаризации нерестилищ с вытекающими требованиями по высокому пересечению снимков на учетной станции.

При информационном обеспечении задач прогнозирования или сопровождении путины, требующих покрытия аэрофотосъемкой обширных площадей, построение ЦМР малоактуально, поэтому в целях ускорения работ целесообразен переход на низкое пересечение снимков на учетной станции или даже на единичное фотографирование. Низкое пересечение фотографий вынуждает отказаться от ортофотопланов в пользу их грубого аналога — ортофотоснимков, вполне достаточных для целей обеспечения задач прогнозирования и сопровождения путины. Отказ от съемки с высоким пересечением снимков существенно повышает суточное покрытие аэрофотосъемки и сокращает сроки фотограмметрической обработки отснятых материалов.

Обеспечение достаточного для создания ЦМР пересечения снимков при целевом разрешении снимков на местности не грубее 1,5 см/пикс, рекомендуемом при беспилотном учете лососей [Свиридов и др., 2022a], зачастую достижимо лишь при помощи БПЛА мультироторного типа, способного вести съемку в широком диапазоне скоростей, в том числе на сниженной скорости, позволяющей обеспечить достаточное пересечение фотографий. Также мультироторный тип беспилотников выгодно отличается от самолетного рядом дополнительных преимуществ (эффективное регулирование величины смаза благодаря широкому диапазону рабочих скоростей, увеличение при необходимости разрешения снимка на местности с помощью длиннофокусного объектива, отработка в один пролет сложной геометрии станции при извилистости водотока и т.д.), повышающих приемлемость качества фотографий для подсчета объектов учета методами ИИ. Учет тихоокеанских лососей мультироторными БПЛА на обширных акваториях возможен лишь при большом суточном пространственном покрытии съемкой, которое на данный момент возможно лишь бензиновыми моделями с двигателем внутреннего сгорания (ДВС) и радиусом работ в сотни километров. Следует принимать во внимание, что техническое обслуживание ДВС мультироторного беспилотника и управление таким типом БПЛА выдвигают максимальные квалификационные требования к операторам.

Автоматизация работы с материалами аэрофотосъемки: фотограмметрической обработки, векторизации, расчета численности объектов учета

Ускорение беспилотного учета, в том числе посредством автоматизации обработки отснятых материалов, является основой повышения его эффективности. На рис. 4 представлены различные подходы к ускорению обработки материалов беспилотной аэрофотосъемки. Условно их можно разделить на 5 вариантов, основываясь на логике реализации: увеличение технологичности работ, привлечение дополнительных ресур-



Рис. 4. Варианты реализации ускорения различных этапов обработки материалов беспилотной аэрофотосъемки

Fig. 4. Alternatives for accelerating certain stages of the unmanned aerial photography materials processing

сов и т.д. Реализация варианта зависит от этапа его применения: фотограмметрическая обработка, векторизация, расчет численности.

Первый подход (увеличение технологичности работ) наиболее перспективен, так как нацелен на автоматизацию посредством активно развивающегося в последние годы ПО для фотограмметрии и векторизации методами ИИ с минимальным объемом ручного труда. Наиболее привлекательно в таком подходе то, что он не требует привлечения существенных дополнительных кадровых ресурсов, а также имеется потенциал (при высоком качестве материалов аэрофотосъемки) повышения качества и темпов учета.

Второй подход (привлечение дополнительных ресурсов) позволяет ускорить работы посредством использования повышенных вычислительных и кадровых ресурсов, что не так привлекательно ввиду увеличения затрат. Автоматический подсчет методами ИИ при всей своей перспективности требует дополнительных вычислительных ресурсов вследствие повышенных требований ПО для таких задач в сравнении с настольными ГИС, применяемыми для ручной оцифровки.

Третий подход (уменьшение степени обработки материалов) предлагает компромисс между скоростью учета и его точностью. Это может быть целесообразно, когда оперативность в приоритете над качеством, например при сопровождении путины. Существенное ускорение подсчета объектов учета на материалах аэрофотосъемки возможно посредством замены векторизации (как ручной, так и посредством ИИ) на визуальную (на глаз) экспресс-оценку в настольной ГИС количества объектов учета

на ортофотоснимках, полученных посредством ортотрансформирования фотоматериалов, занимающего существенно меньше времени по сравнению со стандартной фотограмметрической обработкой. Подобная визуальная экспресс-оценка является приемлемым предварительным способом учета, имитирующим аэровизуальный учет с пилотируемых летательных аппаратов [Свиридов и др., 2022a].

Четвертый подход (выборочность при обработке материалов) также является компромиссом между темпами учета и его точностью. Как уже указывалось выше, беспилотный учет из-за технических ограничений носит выборочный характер. Расчет численности объектов учета в речном бассейне производится пересчетом их количества на фотоснимках с помощью экстраполяционного коэффициента, представляющего собой соотношение между площадью отснятой акватории и областью распределения в реке, и анализа нерестового фонда. Поэтому при повышенной потребности в оперативном получении предварительных оценок численности возможно подвергать фотограмметрической обработке и подсчету объектов лишь часть собранных материалов аэрофотосъемки.

Пятый вариант (подготовительные работы до проведения беспилотных сборов информации) реализует упреждающий подход к экономии рабочего времени в период учета. Актуальные космоснимки Sentinel-2 в сочетании с геометрией учетных станций можно до начала экспедиционных работ использовать для измерения как площади области учета, так и площади акватории, планируемой к охвату аэрофотоснимками. Заблаговременный расчет соотношения между данными площадями даст экстраполяционные коэффициенты. Однако для расчета численности потребуются корректировка этих экстраполяционных коэффициентов путем введения поправок, основанных на качестве визуализации объектов учета на отснятых материалах: в ходе съемки неизбежны проблемы с подсчетом объектов на части отснятой акватории по причине блокирования береговой растительностью, недостаточной прозрачности и других проблем.

Заключение

Результаты беспилотного учета тихоокеанских лососей, проведенного в реках Охотского района, свидетельствуют о возможности использования оценок плотностей бугров на контрольных участках в качестве индексов обилия для целей информационного обеспечения задач прогнозирования. Для обеспечения качественных межгодовых сравнений и объективности беспилотного учета его нужно проводить с минимальным отклонением от планируемых сроков аэрофотосъемки и полной отработкой геометрии контрольного участка. Вынужденные, в том числе в связи с неблагоприятной метеобстановкой, сдвиги сроков беспилотной съемки, а также неполное пространственное покрытие съемкой целевых контрольных участков снижают точность получаемых оценок и по возможности должны минимизироваться.

Дальнейшую автоматизацию беспилотного учета необходимо развивать, отталкиваясь от специфики решаемых задач, его этапности. Снижение объема неавтоматизированных работ на каждом этапе беспилотного учета, замена их на автоматически выполняемые имеют ключевое значение для повышения его эффективности и оперативности. Адекватная автоматизация должна основываться на совместимости подходов к ее реализации между разными этапами беспилотного учета, на обеспечении их стыкуемости и взаимной сбалансированности. Например, стремление обеспечить более высокое качество снимка на этапе аэрофотосъемки за счет применения высококачественных, но и более тяжелых, а потому сокращающих полетное время беспилотника камер, должна быть сбалансирована с пространственным охватом схемы станций, имеющимися вычислительными мощностями для обработки снимков и сроками отчетности.

При учете таких сложных по ряду признаков (малые размеры, слабая освещенность ввиду поглощения водой, неравномерное распределение на обширных площадях и т.д.) объектов, как лососи, и одновременной потребности в автоматизации подсчета

методами ИИ крайне важно делать акцент не на объеме собираемых материалов, а на их пространственной репрезентативности и качестве снимков. Поэтому в приоритете должно быть не получение максимального количества фотографий, а адекватное выборочное покрытие ими площадей распределения целевых объектов, основанное на сведениях о нерестовом фонде, обеспечение приемлемости качества снимков для обработки методами ИИ, соответствие объема сборов техническим мощностям, кадровым ресурсам и срокам отчетности. Автоматизация беспилотного учета тихоокеанских лососей является не только способом ускорения и удешевления данных работ, но и послужит повышению их качества за счет стандартизации выполнения съемок.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы благодарят сотрудников Хабаровского филиала ВНИРО за участие в сборе материалов.

The authors are grateful to their colleagues from Khabarovsk branch of VNIRO who joined to collection of materials for the study.

Финансирование работы (FUNDING)

Работа выполнена в рамках бюджетного финансирования.

The study was conducted on budget funding.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все приемлемые национальные, институциональные и международные этические принципы соблюдены. Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

All applicable national, institutional and international ethical guidelines are implemented. The authors claim that they have no conflict of interests.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Д.В. Коцюк — планирование работ, анализ результатов, написание статьи; В.В. Свиридов — сбор и обработка данных, анализ результатов, написание статьи; А.Ю. Поваров — сбор и обработка данных, анализ результатов, написание статьи.

D.V. Kotsyuk — surveys planning, results analysis, text writing; V.V. Sviridov — data collection and processing, results analysis, text writing; A.Yu. Povarov — data collection and processing, results analysis, text writing.

Список литературы

Дуленин А.А., Дуленина П.А., Коцюк Д.В., Свиридов В.В. Опыт и перспективы использования малых беспилотных летательных аппаратов в морских прибрежных биологических исследованиях // Тр. ВНИРО. — 2021. — Т. 185. — С. 134–151. DOI: 10.36038/2307-3497-2021-185-134-151.

Запорожец О.М., Запорожец Г.В. Использование фото- и видеофиксации для оценки количества производителей тихоокеанских лососей на нерестилищах и путях их миграций: некоторые методические подходы // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. — 2017. — Вып. 47. — С. 77–90. DOI: 10.15853/2072-8212.2017.47.77-90.

Запорожец О.М., Запорожец Г.В., Фельдман М.Г. Оценка численности производителей нерки и их распределение по нерестовым станциям в бассейне Начикинского озера (Камчатка) в 2019 г. // Изв. ТИНРО. — 2020. — Т. 200, вып. 3. — С. 618–634. DOI: 10.26428/1606-9919-2020-200-618-634.

Свиридов В.В., Золотухин С.Ф. Методы ГИС для инвентаризации нерестилищ тихоокеанских лососей р. Амур // Изв. ТИНРО. — 2020. — Т. 200, вып. 3. — С. 730–746. DOI: 10.26428/1606-9919-2020-200-730-746.

Свиридов В.В., Коцюк Д.В., Подорожник Е.В. Беспилотный фотограмметрический учет тихоокеанских лососей посредством БПЛА потребительского класса // Изв. ТИНРО. — 2022а. — Т. 202, вып. 2. — С. 429–449. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-429-449. EDN: CNQHAF.

Свиридов В.В., Подорожнюк Е.В., Никитин В.Д., Скорик А.В. Модификации беспилотного учета производителей тихоокеанских лососей в реках Сахалинской области и Хабаровского края // Изв. ТИПРО. — 2022б. — Т. 202, вып. 4. — С. 1015–1031. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-1015-1031. EDN: JULFRV.

Шевляков Е.А., Маслов А.В. Реки, определяющие воспроизводство тихоокеанских лососей на Камчатке, как реперы для оценки заполнения нерестового фонда // Изв. ТИПРО. — 2011. — Т. 164. — С. 114–139.

Шевляков Е.А., Фельдман М.Г., Островский В.И. и др. Ориентиры и оперативная оценка пропуска производителей на нерестилища как инструменты перспективного и краткосрочного управления запасами тихоокеанских лососей в реках Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна // Изв. ТИПРО. — 2019. — Т. 196. — С. 23–62. DOI: 10.26428/1606-9919-2019-196-23-62.

Шевляков Е.А., Шубкин С.В. Современный опыт обследования нерестилищ тихоокеанских лососей в водоемах Чукотки // Изв. ТИПРО. — 2020. — Т. 200, вып. 2. — С. 270–291. DOI: 10.26428/1606-9919-2020-200-270-291.

Шунтов В.П., Волвенко И.В. Сравнительный анализ обилия макрофауны пелагиали и бентали в дальневосточных морях и сопредельных водах Тихого океана // Вопр. рыб-ва. — 2016. — Т. 17, № 2. — С. 133–147.

Auerbach D.S., Fremier A.K. Identification of salmon redds using RPV-based imagery produces comparable estimates to ground counts with high inter-observer variability // River Res. Appl. — 2023. — Vol. 39. — P. 35–45. DOI: 10.1002/rra.4065.

Ballard T., Krueger W. Cattle and Salmon I: Cattle Distribution and Behavior in a Northeastern Oregon Riparian Ecosystem // Rangel. Ecol. Manag. — 2005. — Vol. 58, № 3. — P. 267–273. DOI: 10.2111/1551-5028(2005)58[267:CASICD]2.0.CO;2.

Dauble D.D., Watson D.G. Status of fall Chinook salmon populations in the mid-Columbia River, 1948–1992 // N. Am. J. Fish. Manag. — 1997. — Vol. 17. — P. 283–300. DOI: 10.1577/1548-8675(1997)017<0283:SOFCSF>2.3.CO;2.

Gallagher S.P., Gallagher C.M. Discrimination of Chinook Salmon, Coho Salmon, and Steelhead Redds and Evaluation of the Use of Redd Data for Estimating Escapement in Several Unregulated Streams in Northern California // N. Am. J. Fish. Manag. — 2005. — Vol. 25. — P. 284–300. DOI: 10.1577/M04-016.1.

Irvine J.R., Bocking R.C., English K.K., Labella M. Estimating coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) spawning escapements by conducting visual surveys in areas selected using stratified random and stratified index sampling designs // Can. J. Fish. Aquat. Sci. — 1992. — Vol. 49, № 10. — P. 1972–1981. DOI: 10.1139/f92-219.

Isaak D.J., Thurow F.R., Rieman B.E., Dunham J.B. Temporal variation in synchrony among Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) redd counts from a wilderness area in central Idaho // Can. J. Fish. Aquat. Sci. — 2003. — Vol. 60(7). — P. 840–848. DOI: 10.1139/f03-073.

Johnson D.H., Shrier B.M., O'Neal J.S. et al. Salmonid Field Protocols Handbook. Techniques for Assessing Status and Trends in Salmon and Trout Populations. — Bethesda : American Fisheries Society, 2007. — 478 p. DOI: 10.47886/9781888569926.

Kazakov S.A., Stoianova D.S., Nikolova Y.S., Pehlivanov L.Z. Spawning of Stocked Brown Trout *Salmo trutta* Linnaeus, 1758 (Actinopterygii: Salmonidae) in Tailwater Section, Downstream Ogosta Reservoir, Bulgaria // Acta Zool. Bulg. — 2022. — Vol. 74, № 1. — P. 111–118.

Maxell B.A. A power analysis on the monitoring of bull trout stocks using redd counts // N. Am. J. Fish. Manag. — 1999. — Vol. 19. — P. 860–866.

McKenna B., Parkyn D., Lecours V. et al. Drones: a new technique for monitoring salmon spawning escapements // Newsletter of the Alaska Chapter, American Fisheries Society. — 2019. — Vol. 39, № 4. — P. 1–6.

Neilson J.D., Geen G.H. Enumeration of spawning salmon from spawner residence time and aerial counts // Trans. Am. Fish. Soc. — 1981. — Vol. 110, Iss. 4. — P. 554–556. DOI: 10.1577/1548-8659(1981)110<554:EOSSFS>2.0.CO;2.

Nugent J.J., Lindsey C.T. Hanford Reach Fall Chinook Redd Monitoring Report for Calendar Year 2018. — Richland : Mission Support Alliance, 2020. — 29 p.

Raoult V., Colefax A.P., Allan B.M. et al. Operational Protocols for the Use of Drones in Marine Animal Research // Drones. — 2020. — Vol. 4, Iss. 4. — P. 1–35. DOI: 10.3390/drones4040064.

References

- Dulenin, A.A., Dulenina, P.A., Kotsyuk, D.V., and Sviridov, V.V.**, Experience and perspectives of small unmanned aerial vehicles application for marine coastal biological studies, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2021, vol.185, pp. 134–151. doi 10.36038/2307-3497-2021-185-134-151
- Zaporozhets, O. M. and Zaporozhets, G.V.**, Using the photo- and video records for assessment of pacific salmon escapement on migration routes and spawning grounds: some of methodical approaches, *Issled. Vodn. Biol. Resur. Kamchatki Sev.-Zapadn. Chasti Tikhogo Okeana*, 2017, no. 47, pp. 77–90. doi 10.15853/2072-8212.2017.47.77-90
- Zaporozhets, O.M., Zaporozhets, G.V., and Feldman, M.G.**, Estimation of the number of sockeye salmon adults and their distribution by spawning stations in the basin of Lake Nachikinskoye (Kamchatka) in 2019, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2020, vol. 200, no. 3, pp. 618–634. doi 10.26428/1606-9919-2020-200-618-634
- Sviridov, V.V. and Zolotukhin, S.F.**, Gis methods for inventory of pacific salmons spawning grounds in the Amur River, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2020, vol. 200, no. 3, pp. 730–746. doi 10.26428/1606-9919-2020-200-730-746
- Sviridov, V.V., Kotsyuk, D.V., and Podorozhnyuk, E.V.**, Photogrammetric counts of pacific salmon by means of unmanned aerial vehicles of consumer grade, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 2, pp. 429–449. doi 10.26428/1606-9919-2022-202-429-449. EDN: CNQHAF
- Sviridov, V.V., Podorozhnyuk, E.V., Nikitin, V.D., and Skorik, A.V.**, Modifications of unmanned aerial survey on spawners of pacific salmons in the rivers of Sakhalin and Khabarovsk Regions, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 4, pp. 1015–1031. doi 10.26428/1606-9919-2022-202-1015-1031. EDN: JULFRV.
- Shevlyakov, E.A. and Maslov, A.V.**, The rivers determining reproduction of pacific salmons in Kamchatka as indicators of spawning grounds filling, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2011, vol. 164, pp. 114–139.
- Shevlyakov, E.A., Feldman, M.G., Ostrovsky, V.I., Volobuev, V.V., Kaev, A.M., Golub, E.V., Barabanshchikov, E.I., Golovanov, I.S.**, Limits and operational evaluation of the spawners escapement to the spawning grounds as tools for prospective and short-term management of the pacific salmon stocks in the rivers of the Far-Eastern fisheries Basin, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2019, vol. 196, pp. 23–62, doi 10.26428/1606-9919-2019-196-23-62
- Shevlyakov, E.A. and Shubkin, S.V.**, Recent experience of surveying the spawning grounds of pacific salmons in the water bodies of Chukotka, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2020, vol. 200, no. 2, pp. 270–291. doi 10.26428/1606-9919-2020-200-270-291
- Shuntov, V.P. and Volvenko, I.V.**, Comparative analysis of the abundance of benthic and pelagic macrofauna in the Far East seas and adjacent waters of the Pacific Ocean, *Vopr. Rybolov.*, 2016, vol. 17, no. 2; pp. 133–147.
- Auerbach, D.S. and Fremier, A.K.**, Identification of salmon redds using RPV-based imagery produces comparable estimates to ground counts with high inter-observer variability, *River Res. Appl.*, 2023, vol. 39, pp. 35–45. doi 10.1002/rra.4065
- Ballard, T. and Krueger, W.**, Cattle And Salmon I: Cattle Distribution and Behavior in a Northeastern Oregon Riparian Ecosystem, *Rangel. Ecol. Manag.*, 2005, vol. 58, no. 3, pp. 267–273. doi 10.2111/1551-5028(2005)58[267:CASICD]2.0.CO;2
- Dauble, D.D. and Watson, D.G.**, Status of fall Chinook salmon populations in the mid-Columbia River, 1948–1992, *N. Am. J. Fish. Manag.*, 1997, vol. 17, pp. 283–300. doi 10.1577/1548-8675(1997)017<0283:SOFCSP>2.3.CO;2
- Gallagher, S.P. and Gallagher, C.M.**, Discrimination of Chinook Salmon, Coho Salmon, and Steelhead Redds and Evaluation of the Use of Redd Data for Estimating Escapement in Several Unregulated Streams in Northern California, *N. Am. J. Fish. Manag.*, 2005, vol. 25, pp. 284–300. doi 10.1577/M04-016.1
- Irvine, J.R., Bocking, R.C., English, K.K., and Labella, M.**, Estimating coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) spawning escapements by conducting visual surveys in areas selected using stratified random and stratified index sampling designs, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1992, vol. 49, no. 10, pp. 1972–1981. doi 10.1139/f92-219
- Isaak, D.J., Thurow, F.R., Rieman, B.E., and Dunham, J.B.**, Temporal variation in synchrony among Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) redd counts from a wilderness area in central Idaho, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 2003, vol. 60(7), pp. 840–848. doi 10.1139/f03-073

Johnson, D.H., Shrier, B.M., O’Neal, J.S., Knutzen, J.A., Augerot, X., O’Neal, T.A., and Pearsons, T.N., *Salmonid Field Protocols Handbook. Techniques for Assessing Status and Trends in Salmon and Trout Populations*, Bethesda: American Fisheries Society, 2007. doi 10.47886/9781888569926.

Kazakov, S.A., Stoianova, D.S., Nikolova, Y.S., and Pehlivanov, L.Z., Spawning of Stocked Brown Trout *Salmo trutta* Linnaeus, 1758 (Actinopterygii: Salmonidae) in Tailwater Section, Downstream Ogosta Reservoir, Bulgaria, *Acta Zool. Bulg.*, 2022, vol. 74, no. 1, pp. 111–118.

Maxell, B.A., A power analysis on the monitoring of bull trout stocks using redd counts, *N. Am. J. Fish. Manag.*, 1999, vol. 19, pp. 860–866.

McKenna, B., Parkyn, D., Lecours, V., Stark, C., and Lepping, B., Drones: a new technique for monitoring salmon spawning escapements, *Newsletter of the Alaska Chapter, American Fisheries Society*, 2019, vol. 39, no. 4, pp. 1–6.

Neilson, J.D. and Geen, G.H., Enumeration of spawning salmon from spawner residence time and aerial counts, *Trans. Am. Fish. Soc.*, 1981, vol. 110, no. 4, pp. 554–556. doi 10.1577/1548-8659(1981)110<554:EOSSFS>2.0.CO;2

Nugent, J.J. and Lindsey, C.T., Hanford Reach Fall Chinook Redd Monitoring Report for Calendar Year 2018, Richland: Mission Support Alliance, 2020.

Raoult, V., Colefax, A.P., Allan, B.M., Cagnazzi, D., Castelblanco-Martínez, N., Ierodiakonou, D., Johnston, D.W., Landeo-Yauri, S., Lyons, M., Pirota, V., Schofield, G., and Butcher, P.A., Operational Protocols for the Use of Drones in Marine Animal Research, *Drones*, 2020, vol. 4, no. 4, pp. 1–35. doi 10.3390/drones4040064

Поступила в редакцию 3.06.2024 г.

После доработки 10.07.2024 г.

Принята к публикации 13.09.2024 г.

*The article was submitted 3.06.2024; approved after reviewing 10.07.2024;
accepted for publication 13.09.2024*

Научная статья

УДК [639.2.053.1:597.555.51](265.51)

DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-722-744

EDN: RQTAGT

**ВЕКТОРНЫЕ АВТОРЕГРЕССИОННЫЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ (VAST) МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БИОМАССЫ ТРЕСКИ *GADUS MACROCEPHALUS* (GADIDAE) С УЧЕТОМ ПРИДОННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ В ЗАПАДНО-БЕРИНГОВОМОРСКОЙ ЗОНЕ****В.В. Кулик, А.Б. Савин***Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

Аннотация. На основе материалов донных тралений с 1977 по 2021 г., проведённых до глубины 400 м, показана высокая статистическая значимость придонной температуры воды T и глубины места D для моделирования распределения биомассы трески в Западно-Берингоморской зоне во всех проверенных моделях. Наилучшей обобщающей способностью обладали векторные авторегрессионные пространственно-временные (VAST) модели, включающие нелинейные зависимости уловов трески от T и D . Корреляция плотностей трески в тестовом наборе данных с оценками плотностей в моделях VAST была выше, чем таковая с оценками биомасс из более простых моделей, настроенных на полном наборе данных. Использование моделей VAST позволяет получить непрерывные временные ряды биомассы трески с оценкой их неопределенности и статистических весов самих моделей относительно тестовых данных. Полученный усредненный ряд динамики биомассы ансамблевым методом с учетом статистических весов моделей совместно с ранее опубликованными оценками биомасс позволяют установить в обобщенной модели прибавочной продукции в пространстве состояний с Байесовым подходом динамику отклонений биологических процессов от стационарных допущений и приблизительно оценить объем трески, не учитываемый этими процессами. Доля такой трески резко выросла в 2016 г. до 40 % и к 2018 г. достигла максимума в 49 %, что значительно отклоняется от стационарных допущений, но затем эта доля начала снижаться. Анализ годовых тенденций из эмпирических ортогональных функций T выявил резкие изменения основных мод T в эти годы. Таким образом, неоднократно высказанная гипотеза о перераспределении трески Берингова моря из-за изменения площади акватории с низкой температурой воды у дна здесь впервые проверена статистическими методами в пространстве. В связи с найденной высокой ошибкой биологических процессов сделан вывод о невозможности точного прогнозирования динамики биомассы трески без прогнозирования распределения придонной температуры воды в пространстве.

Ключевые слова: Берингово море, треска, GLM, GLMM, GAM, GAMM, VAST**Для цитирования:** Кулик В.В., Савин А.Б. Векторные авторегрессионные пространственно-временные (VAST) модели распределения биомассы трески *Gadus*

* Кулик Владимир Владимирович, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией, vladimir.kulik@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0003-0920-5312; Савин Андрей Борисович, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, andrey.savinn@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0003-5910-6512.

macrocephalus (Gadidae) с учетом придонной температуры воды в Западно-Беринговоморской зоне // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 3. — С. 722–744. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-722-744. EDN: RQTAGT.

Original article

Vector Autoregressive Spatio-Temporal (VAST) models for biomass distribution of pacific cod *Gadus macrocephalus* (Gadidae) considering water temperature at the sea bottom in the West Bering Sea zone

Vladimir V. Kulik*, Andrey B. Savin**

*, ** Pacific branch of VNIRO (TINRO),

4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia

* Ph.D., head of laboratory, vladimir.kulik@tinro.vniro.ru, ORCID 0000-0003-0920-5312

** Ph.D., leading researcher, andrey.savin@tinro.vniro.ru, ORCID 0009-0003-5910-6512

Abstract. High statistical significance of water temperature at the sea bottom T and depth D for distribution of pacific cod in the West Bering Sea fishing zone is found in several tested models tuned on the data of bottom trawl surveys conducted in the period between 1977 and 2021 not deeper than 400 m. The vector autoregressive spatio-temporal (VAST) models which included nonlinear dependencies of cod catches from T and D have the best generalization ability. Correlation between predicted by VAST models and observed distribution density of cod in the test data set are higher than that in simpler models trained using the full set of data. The VAST models produce continuous time series of cod biomass with estimates of their uncertainty and statistical weights of the model configurations relative to the test data. After stacking with statistical weights and previously published estimates of biomass, the obtained time series allow to estimate dynamics of biological processes deviations from stationary assumptions and to estimate approximately the volume of “extra” cod not considered by these processes in the Bayesian State-Space Surplus Production Model. The portion of “extra” cod increased sharply above 40 % in 2016 and reached the maximum of 49 % by 2018, then began to decrease. Sharp changes in the main EOF modes for T are revealed in these years. Thus, the hypothesis of cod redistribution in the Bering Sea due to changes of the cold pool area at the bottom was tested for the first time by statistical methods in space. Due to high errors of forecasts based on analysis of biological processes only, there is impossible to predict accurately dynamics of the cod biomass without predicting the water temperature distribution at the bottom of shelf.

Keywords: Bering Sea, pacific cod, statistical models (GLM, GLMM, GAM, GAMM, VAST)

For citation: Kulik V.V., Savin A.B. Vector Autoregressive Spatio-Temporal (VAST) models for biomass distribution of pacific cod *Gadus macrocephalus* (Gadidae) considering water temperature at the sea bottom in the West Bering Sea zone, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 3, pp. 722–744. (In Russ). DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-722-744. EDN: RQTAGT.

Введение

Среди экологов популярны следующие универсальные статистические инструменты: обычные регрессионные линейные модели (OLM — Ordinary Linear Model), их обобщенные варианты (GLM — Generalized Linear Model), включая смешанные модели (GLMM) [Bolker et al., 2009] и аддитивные (GAM — Generalized Additive Model) [Zuur et al., 2009; Hastie, Tibshirani, 2014], которые также используются для решения многих задач в рыбохозяйственных исследованиях уже много лет [Venables, Dichmont, 2004]. Вершиной их развития до перехода к методам машинного обучения считаются векторные авторегрессионные пространственно-временные модели (VAST — Vector Autoregressive Spatio-Temporal) [Thorson, 2019]. Использование моделей VAST стало стандартной практикой для оценки биомассы в научных съемках в Комиссии по рыболовству в северной части Тихого океана и рекомендацией в протоколах стандартизации, включая промысловые данные.

Применение методов машинного обучения для оценки динамики биомассы придонных рыб по данным научных съемок затруднено из-за малого числа донных тралений (ДТ) в пределах сезонных и пространственных срезов по годам и малого числа предикторов, доступных для экстраполяции и даже интерполяции, при всем их разнообразии в местах проведения ДТ. Дополнение научных наблюдений промысловой статистикой связано с проблемой отсутствия нулевых плотностей в сообщениях об уловах и дополнительной информации об окружающей среде. Наша первая попытка оценки изменения биомассы тихоокеанской трески *Gadus macrocephalus* с привлечением методов машинного обучения по смешанным наборам данных уже была опубликована для Северо-Курильской зоны [Кулик, Горюнов, 2022]. Пока аналогичный подход в северо-западной части Берингова моря показал неплохие результаты лишь для макрурусов и палтусов [Kulik et al., 2023].

Развитие моделей от простых OLM, к которым относится «метод площадей» [Аксютин, 1968, 1970а], к сложным моделям VAST связано с тем, что в реальности всегда не хватает данных, как по количеству, так и по качеству, чтобы связать наблюдения и вероятные причины их изменения по времени и пространству простыми отношениями. Следовательно, приходится учитывать ненормальность распределения наблюдений, стабилизируя дисперсию логарифмической трансформацией [Аксютин, 1970б] или более подходящими распределениями из экспоненциального семейства в GLM, а связи ошибок во времени и пространстве моделировать скрытыми полями в смешанной части GLMM или VAST [Thorson, 2019].

Модели типа VAST уже использовались нами для оценки динамики биомассы трески, минтая *Gadus chalcogrammus* и четырехбугорчатой камбалы *Pleuronectes quadrituberculatus* в Беринговом море с учетом индекса холодного пятна (CPI — Cold Pool Index), который показывает площадь воды с температурой у дна от 2 °C и ниже. Максимум объясненной дисперсии, связанной с CPI, составил 11,9 % именно у трески. Тем не менее у всех исследованных рыб отмечена тенденция увеличения обилия с 2016 по 2019 г. севернее о. Святого Лаврентия по направлению к Берингову проливу, но данные после 2017 г. в Западно-Беринговоморской зоне (ЗБ) в расчетах не были учтены [O'Leary et al., 2022]. Более того, при расчетах значения придонной температуры воды непосредственно в местах тралений и вообще в пространстве для оценки динамики биомассы использованы не были. Значения CPI были проинтегрированы на каждый год отдельно, а его пространственный эффект был найден лишь в виде стационарного скрытого поля, с обратной связью ядра на границе исключительной экономической зоны (ИЭЗ) США и России вокруг изобаты 100 м в северной части Берингова моря.

Модели типа GAM также использовались нами ранее для оценки запасов трески с 1965 по 1968 г. и с 1970 по 1980 г. [Савин, 2023]. Метод сплайн-аппроксимации [Василенко, 1983] плотности распределения трески в зависимости от глубины обитания был реализован в закрытой программе с ограниченным кругом пользователей «КартМастер» [Бизиков и др., 2007; Поляков, 2008]. В программе «КартМастер» отсутствует возможность выбора базовых функций сплайнов и автоматической оптимизации числа их узлов через обобщенную кросс-валидацию, но это уже давно доступно в иных открытых программных пакетах для настройки GAM и VAST. С 1999 по 2021 г. биомасса трески в ЗБ оценивалась методом площадей по стратам Вороного-Дирхле, нарезанным изобатами 20, 50, 100, 200, 300 и 400 м [Савин, Глебов, 2016; Савин, 2018]. Такой подход ничем не отличался от OLM с учетом площади страт в виде статистических весов. Следовательно, никакие связи в пространстве, времени и с предикторами типа глубины места или температуры воды у дна учтены не были. Однако главной причиной, влияющей на динамику обилия нагульной трески в ЗБ, уже называлось изменение площади акватории Лаврентьевского холодного пятна [Савин, 2021, 2023]. Его минимальная площадь в 2018–2019 гг. совпала с периодом высокой численности трески на северо-западе моря, а в 2021 г. существенно выросла, и уловы трески снизились [Савин, 2023].

Таким образом, основная цель данной работы — это настроить модель VAST и более простые модели так, чтобы оценить значимость и необходимость глубины места или температуры воды у дна для моделирования плотности трески в ЗБ за весь период наблюдений. Вторичная цель — вычленив динамику биомассы независимой виртуальной «популяции» трески в ЗБ, чтобы по разнице от смешанных опубликованных ранее оценок биомассы определить долю «лишней» трески, значительно отклоняющую модель биологического процесса в пространстве состояний от стационарных допущений с начала промышленного лова трески в ЗБ. Дополнительно мы поставили себе задачу выявить основные изменения в пространстве и времени температуры воды у дна в северной части Берингова моря с 1970 по 2024 г. по общедоступным данным.

Материалы и методы

Исходная информация получена из той же базы данных, что использовалась при создании таблиц встречаемости, численности и биомассы макрофауны бентали в западной части Берингова моря за 1977–2010 гг. [Макрофауна..., 2014]. Выборка была ограничена глубиной до изобаты в 400 м в Западно-Берингоморской зоне (между 170° в.д. и 175° з.д.). Новые данные до 2021 г. с теми же условиями создания выборки получены из базы данных «Морская биология»*. Таким образом, всего получено 5109 ДТ (прил. 1**).

Доля нулевых уловов трески составила всего 30 %. Такой низкий показатель позволяет нам использовать составное распределение Пуассона-Гамма (Твиди) [Jørgensen, 1997] вместо модели типа дельта, разделенной на части, имитирующие сначала вероятность ненулевого улова, а затем его плотность различными формулами и распределениями.

Итак, здесь зависимая переменная — это улов трески (рыб длиной по Смитту более 20 см) в тоннах с делением на коэффициент уловистости (КУ), равный 0,4 по принятой в ТИНРО методике [Макрофауна..., 2014]. Мы сохранили эту традицию, но в современных моделях в пространстве состояний КУ является лишним допущением, хотя и позволяет притянуть модельные оценки динамики биомассы к ранее опубликованным, если зафиксировать коэффициент улавливаемости или доступности запаса для съемки ($q = 1$), но мы этого делать не будем. Поиск q даст представление о среднескоплетней доле доступного для съемки запаса аборигенной трески в ЗБ, если допустить КУ = 0,4 абсолютно точным. Такой вывод основан на том, что наивно полагать миграции трески однонаправленными только в ЗБ из ИЭЗ США, ведь они могут происходить и в обратном направлении, тогда q будет меньше 1.

Расчет единичного усилия (протраленной ДТ площади, км²) соответствует принятой в ТИНРО методике. Площадь траления равна произведению его средней скорости на затраченное время и ширину горизонтального раскрытия ДТ [Макрофауна..., 2014]. Определение длины пути произведением средней скорости и затраченного времени более надежно, чем по координатам, в связи с тем, что координаты окончания траления до сих пор содержат множество ошибок ввода данных. Ихтиологи в ТИНРО практически никогда не используют координаты окончания траления, поэтому ошибки ввода десятилетиями остаются незамеченными.

Символы в формулах ниже выбраны согласно рекомендациям в математической экологии [Edwards, Auger-Méthé, 2019]. Зависимая переменная введена в масштабе наблюдений, а усилия ($a = \text{км}^2$) заданы в виде экспоненциального показателя без коэффициента ($O_{s,t} = \text{Ln}(a_{s,t})$) по формуле (1) в полной модели, следуя рекомендациям для VAST. Такой подход имеет пару преимуществ перед моделированием плотности (т/км²).

* Свидетельство № 6394 от 01.08.2000 г. о регистрации в Государственном регистре баз данных за № 0220006765.

** Все приложения размещены на странице статьи на сайте журнала (<http://izvestiya.tinro-center.ru>) как дополнительные файлы.

Во-первых, он дает возможность при необходимости включить оценку эффективности лова для различных судов, если они имеют регулярно пересекающиеся галсы в съемках, как это происходит в комплексной ДТ съемке в восточной части Берингова моря, когда в смешанную часть модели добавляется групповой фактор по кодам судов. Во-вторых, он позволяет легко переключаться по типу распределений, например, на счетные множества (целое число рыб в уловах), которые не могли бы сохранять свои целочисленные значения при делении на площадь траления [Thorson, 2019]. Кстати, это ещё одна причина отказа от КУ зарубежными исследователями.

$$\mu_{s,t} = E[y_{s,t}] = \exp(X_{s,t}^{main} \cdot \beta + O_{s,t} + \omega_s + \epsilon_{s,t}), \quad (1)$$

где $\mu_{s,t}$ — математическое ожидание E наблюдаемого улова $y_{s,t}$ (здесь уже после коррекции через КУ, т) в географическом пространстве спроецированных на километровую сетку координат s в год t ; $X_{s,t}^{main}$ — матрица зафиксированных эффектов, которая в простейшем случае может содержать, например, фактор года с коэффициентами β ; $\omega_s \sim \text{MVNormal}(0, \sigma_\omega^2 \cdot Q_\omega^{-1})$ — случайное поле по Гауссу пространственной компоненты в цепях Маркова (GMRF — Gaussian Markov random field), где Q — разреженная прецизионная матрица; $\epsilon_{s,t}$ — случайное поле со свойствами i.i.d. (независимые отклонения с постоянной дисперсией) пространственно-временной компоненты за каждый год $\epsilon_t \sim \text{MVNormal}(0, \sigma_\epsilon^2 \cdot Q_\epsilon^{-1})$.

Пространственная компонента GMRF задается в моделях VAST с учетом ковариации $\Phi(s_j, s_k)$ между пространственными положениями s_j и s_k по Матерну формулой (2):

$$\Phi(s_j, s_k) = \tau^2 / (\Gamma(\nu) \cdot 2^{\nu-1}) \cdot (\kappa \cdot d_{jk} \cdot H)^\nu \cdot K_\nu(\kappa \cdot d_{jk} \cdot H), \quad (2)$$

где τ^2 — пространственная дисперсия; ν — гладкость; Γ — гамма-функция; d_{jk} — расстояние между местоположениями s_j и s_k ; K_ν — модифицированная функция Бесселя второго рода; κ — скорость декорреляции. Здесь параметр $\nu = 1$, чтобы использовать преимущества приближения решения стохастического уравнения в частных производных к случайным полям Гаусса для значительного повышения эффективности вычислений [Lindgren et al., 2011]; H — матрица из 2 параметров для учета анизотропии по размаху и соотношению координатных осей [Haskard, 2007; Fuglstad et al., 2015].

Параметры κ и τ преобразуются в размах пространственной связи — $\text{range} = \sqrt{8/\kappa}$ при $\nu = 1$, а предельное стандартное отклонение σ по формуле (3) здесь находится отдельно для пространственной компоненты σ_ω и пространственно-временной σ_ϵ :

$$\sigma = 1 / \sqrt{4 \cdot \pi \cdot \exp(2 \cdot \text{Ln}(\tau) + 2 \cdot \text{Ln}(\kappa))}. \quad (3)$$

В данной работе скорость декорреляции также оценивается отдельно для пространственной компоненты κ_ω и пространственно-временной κ_ϵ .

Все географические координаты спроецированы на километровую азимутальной равновеликой сетке Ламберта (LAEA) с нулевой широтой в 90° с.ш. и нулевой долготой в 160° в.д., заданной командами Proj (<https://proj.org/>): «+proj=laea +lat_0=90 +lon_0=160 +x_0=0 +y_0=0 +datum=WGS84 +units=km +no_defs». В результате большая часть длины изобат шельфа Берингова моря располагается вдоль оси абсцисс, а градиент глубин — вдоль оси ординат. Таким образом, угол поворота анизотропии следует интерпретировать не относительно меридианов долготы, а относительно максимального градиента глубин шельфа, что добавляет гибкости в модель VAST при учете глубины места, снижая коллинеарность скрытых автокорреляционных эффектов и эффекта глубины ДТ.

Независимые переменные включали во время настройки фактические глубину места траления D (м) и температуру воды у дна T ($^\circ\text{C}$), указанные в траловых карточках. К сожалению, T не была сохранена в 143 ДТ, а в 776 ДТ не было известно, являлся ли 0°C истинным измерением или автоматически внесенным значением по умолчанию, поэтому для этих 919 ДТ мы восстановили T из лучшей и общедоступной биогеохимической модели Берингова моря на основе ROMS, которая интегрирована в разрешении

квадратной сетки с длиной стороны в 10 км с 30 слоями по вертикали до дна [Kearney et al., 2020]. В общем доступе из реанализа находятся еженедельные усреднения 143 биогеохимических переменных с 1970 г. по настоящее время (B10K-K20_CORECFS), а без биологических переменных в суточном масштабе времени (B10K-K20nobio_CORECFS_daily) с 1982 по 2023 г. находятся 62 переменные, включая придонную температуру, которая является усреднением температуры воды в 5-метровом придонном слое. Она же использована нами для экстраполяции плотностей трески во всей ЗБ на среднюю дату съемок — 5 августа.

Преимущество модели VAST проверено сначала по информационному критерию Шварца-Байеса (BIC) [Sakamoto et al., 1986] относительно упрощенной модели до GLM, включавшей только эффект года β_t по формуле (4), помимо аппроксимации наблюдений в распределении Твиди с оценкой параметра масштаба дисперсии ϕ и степенного параметра P . Во всех моделях ниже также использовалось распределение Твиди с оценкой ϕ и P .

$$\mu_{s,t} = \exp(\beta_t + O_{s,t}). \quad (4)$$

Затем к GLM поочередно добавлялись тонкоплечные регрессионные сплайны (TPRS — Thin Plate Regression Splines) [Wood, 2003], переводя модель уже в вид GAM для учета нелинейных эффектов T и D по формулам (5–6). При этом каждый TPRS ограничивался при оптимизации 4 степенями свободы k для избежания проблемы переобучения моделей [Wood, 2017]. При автоматической оптимизации числа псевдоузлов TPRS посредством обобщенной кросс-валидации TPRS могут сократиться до прямых зависимостей.

$$\mu_{s,t} = \exp(\beta_t + O_{s,t} + f(T, k < 4); \quad (5)$$

$$\mu_{s,t} = \exp(\beta_t + O_{s,t} + f(D, k < 4). \quad (6)$$

Переход к GLMM осуществлен в формуле (7), где пространственная компонента (ω_s), являясь GMRF, может отражать нишеобразующие особенности среды обитания, стационарные во времени, и интегрировать в себе эффекты множества факторов, не включенных в настройку.

$$\mu_{s,t} = \exp(\beta_t + O_{s,t} + \omega_s). \quad (7)$$

Переход к смешанной GAM (GAMM) по формулам (8–9) позволяет учесть индивидуальность эффектов T и D за вычетом эффекта ω_s , а также определить их формы при одновременном учете T и D по формуле (10).

$$\mu_{s,t} = \exp(\beta_t + O_{s,t} + \omega_s + f(T, k < 4); \quad (8)$$

$$\mu_{s,t} = \exp(\beta_t + O_{s,t} + \omega_s + f(D, k < 4); \quad (9)$$

$$\mu_{s,t} = \exp(\beta_t + O_{s,t} + \omega_s + f(D, k < 4) + f(T, k < 4)). \quad (10)$$

Итоговые модели VAST дополнительно к определению BIC протестированы относительно 10 % исключенных из настройки данных в 3 конфигурациях по формулам (11–13).

$$\mu_{s,t} = \exp(\text{poly}(D, 2) + \text{hs}(T, b_0, b_1) + O_{s,t} + \omega_s + \epsilon_{s,t}); \quad (11)$$

$$\mu_{s,t} = \exp(\text{poly}(D, 2) + \text{hs}(T, b_0, b_1) + O_{s,t} + \omega_s + \delta_{s,t}^{rw}); \quad (12)$$

$$\mu_{s,t} = \exp(\text{poly}(D, 2) + f(k < 4) + O_{s,t} + \omega_s + \delta_{s,t}^{ar}), \quad (13)$$

где $\text{poly}(D, 2)$ — ортогональный полином 2-й степени для учета квадратичного эффекта D в логарифмическом масштабе через 2 коэффициента, что в естественном масштабе имеет вид куполообразной зависимости; $\text{hs}(T, b_0, b_1)$ — функция «хоккейной клюшки» с коэффициентами b_0 и b_1 , произведение которых дает асимптоту множителя эффекта по T , а до точки перелома (b_1) множитель равен $b_0 \cdot T$; $\delta_{s,t}^{rw}$ — пространственно-временная компонента случайного блуждания, у которой свойствами i.i.d. обладает разница между текущим и предыдущим годом ($\delta_{t>1} = \delta_{t-1} + \epsilon_t$); $\delta_{s,t}^{ar}$ — пространственно-временная компонента авторегрессии с корреляцией ρ и связанной ошибкой по

времени: $\delta_{t>1} = \rho\delta_{t-1} + \sqrt{1 - \rho^2}\epsilon_t$. Обе неслучайные пространственно-временные компоненты ($\delta_{s,t}^{rw}$ и $\delta_{s,t}^{ar}$) на первом шаге по времени не отличаются от случайной (ϵ): $\delta_{t=1} \sim \text{MVNormal}(0, \Sigma)$.

Выбор более простых, чем TPRS, функций для оценки эффекта T через «хоккейную клюшку» основан на том, что он может быть пороговым в пределах наблюдаемых температур, а ортогонального полинома 2-й степени — для оценки эффекта D , в результате предварительного анализа GAM и GAMM, где во всех конфигурациях $f(D)$ выглядела в масштабе функции связи параболой, несмотря на возможность принимать более гибкие формы.

Все вычисления и рисунки произведены в языке программирования высокого уровня R* и множестве пакетов для него (прил. 2). Ниже указаны только ключевые пакеты.

Модели VAST, GAMM, GAM, GLMM и GLM настроены в пакете sdmTMB [Anderson et al., 2024]. Триангуляционная сетка узлов для настройки сгенерирована по правилу отсечения ребер длиннее 7 морских миль с ограничением по береговой линии (рис. 1) в пакете fmesher (<https://CRAN.R-project.org/package=fmesher>).

Квадратная сетка для моделирования распределения биомассы сгенерирована равномерно через 1 км площадью каждой ячейки, равной 1 км², в проекции LAEA. Значения глубин сняты центроидами полученных квадратов билинейной интерполяцией из цифровой модели рельефа (ЦМР) GEBCO_2023 (<https://doi.org/10.5285/f98b053b-0cbc-6c23-e053-6c86abc0af7b>) в пакете sf [Pebesma, 2018; Pebesma, Bivand, 2023].

Все полученные в моделях VAST оценки биомасс и их неопределенности использованы для настройки модели динамики биомассы в пространстве состояний с использованием Байесова подхода (JABBA) [Winker et al., 2018]. Описание модели JABBA на русском языке и примеры ее применения для рыб в ЗБ и других опубликованы нами ранее [Кулик и др., 2022, 2023]. Модель JABBA используется на практике для оценки запасов макрурсов и палтусов и определения объема их допустимого улова на Дальнем Востоке уже много лет, поэтому мы не будем здесь ее снова описывать. Дополнительно мы настроили JABBA после предварительного усреднения моделей VAST ансамблевым методом [Yao et al., 2018]. Полученный усредненный индекс биомассы использован совместно с опубликованными оценками динамики нерестового запаса (SSB) трески в северо-западной части Берингова моря [Савин, 2023], исходя из допущения равенства промыслового и нерестового запасов. Такое допущение базируется на том, что неполовозрелая треска целевым образом не добывается, а прилавливается в незначительных количествах.

Априорные распределения ключевых параметров для обеих настроек JABBA были одинаковыми. Скорость мгновенного пополнения популяции r задана логнормальным распределением из метаанализа [Thorson et al., 2023]. В среднем $r = 0,358$ со стандартной ошибкой (SE) около 0,504, что примерно равно коэффициенту вариации $CV = 53,8\%$. Примерно с такой же высокой ошибкой ($CV = 50\%$) задано априорное логнормальное распределение приемной емкости K со средним значением около 1 млн т. В связи с наличием полной истории промысла априорное логнормальное распределение начального истощения ($\varphi = \text{SSB}_1/K$) виртуальной «популяции» трески задано более определенным: в среднем около 0,9 ($CV = 10\%$), следуя рекомендациям для JABBA [Kokkalis et al., 2024]. Параметр формы обобщенной модели прибавочной продукции близок к классической в модели Шефера ($m = 2$), но его $CV = 20\%$. Допускается занижение официального вылова ($CV = 10\%$).

Пространственно-временные особенности распределения T выявлялись в результате ежемесячного усреднения T в равноплощадных гексагонах с длиной главной диагонали в 50 км при помощи пакета exactextractr (<https://CRAN.R-project.org/pack->

* R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2024, version 4.4.1 <https://www.R-project.org/>.

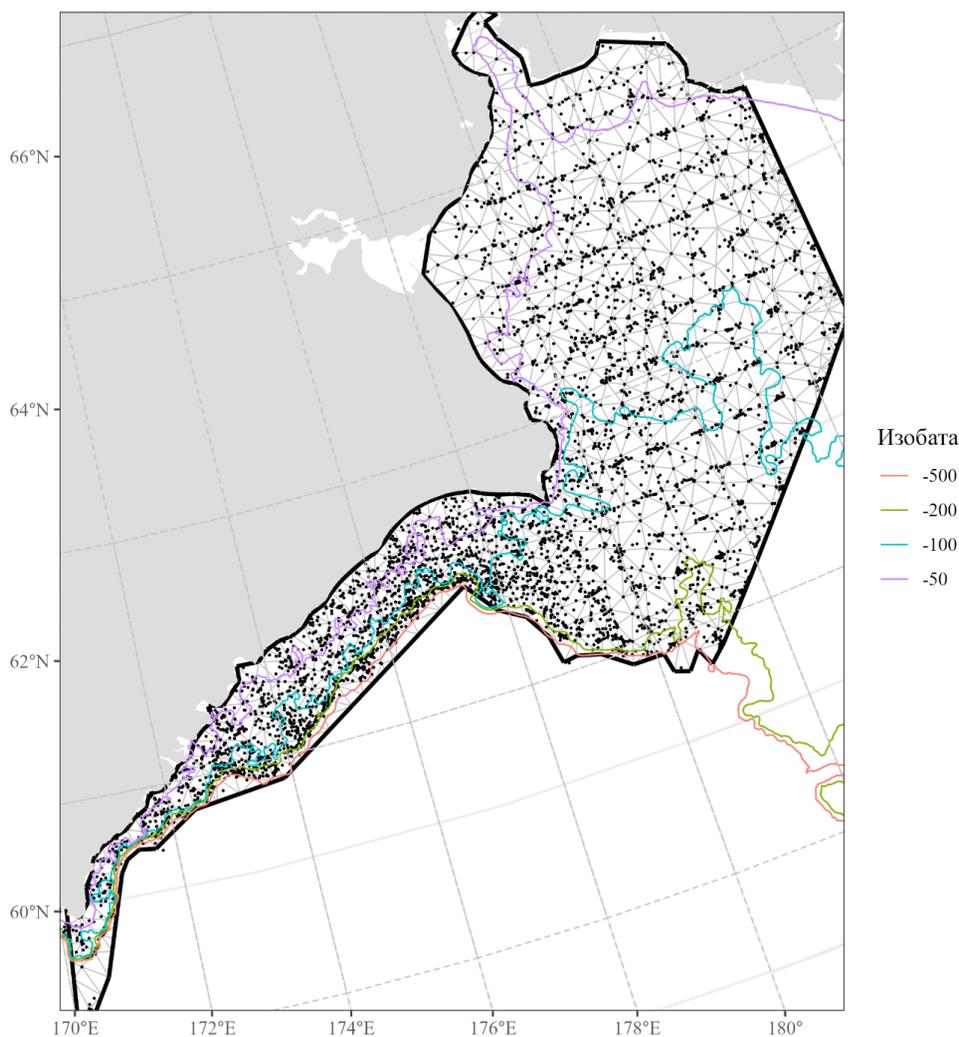


Рис. 1. Полигон ограничения триангуляционной сети с позициями 5109 ДТ в ЗБ с 1977 по 2021 г.

Fig. 1. Triangulation mesh limited by polygon with positions of 5109 bottom trawl stations in the Western Bering Sea fishing zone in the period between 1977 and 2021

age=exactextractr) и анализа эмпирических ортогональных функций (ЭОФ [Zhang, Moore, 2015]). Выделение мод и их амплитуд из ЭОФ проведено в пакете wql (<https://cran.r-project.org/package=wql>). Выбранные самые важные моды ЭОФ в пакете wql вращаются ортогонально методом varimax и масштабируются квадратным корнем соответствующих собственных чисел, чтобы избежать возможных проблем с вычислениями и снизить чувствительность к выбору количества важных мод [Richman, 1986; Hannachi et al., 2007].

Анализ временных рядов амплитуды ЭОФ проведен при помощи периодического сезонного разложения локально взвешенной регрессии (STL [Cleveland et al., 1990]) в пакете forecast [Hyndman, Khandakar, 2008] с указанием сезонного окна сглаживания в 7 мес., а годового около 5 лет (59 мес.).

Результаты и их обсуждение

Наилучшим образом с учетом штрафа за сложность модели к наблюдениям подошла модель VAST по формуле (13) с учетом авторегрессии $\rho = 0,54$ — далее VASTar,

судя по BIC, чьи минимальные значения соответствуют оптимальной модели. Однако статистический вес модели VAS_{Tar} (W) в независимом тестировании (OOB — out-of-bag) был ниже, чем у более простой модели VAST по формуле (12) с учетом случайного блуждания — далее VAS_{Tgw}. Самый низкий вес из моделей VAST получила модель с независимой пространственно-временной корреляцией по формуле (11) — далее VAS_{Tiid}. Тем не менее коэффициент корреляции Пирсона (r) модельных оценок с учетными в настройке наблюдениями во время OOB тестирования был снова максимальным у модели VAS_{Tar}. Все модели VAST оценили анизотропию примерно с одинаковыми размахами связей нишеобразующих факторов ($range_{\omega}$) и пространственно-временных ($range_{\epsilon}$) в направлении 46–48° в используемой сетке LAEA (табл. 1).

Таблица 1

Сводка статистических свойств моделей

Table 1

Overview of statistical properties of models

№ формулы	Модель	BIC	r	r OOB	W	ϕ	P	ω_s	$range$, км или $range_{\omega}$ км, ° $range_{\epsilon}$ км, °	$\epsilon_{s,t}$ $\delta_{s,t}^{rw}$, $\delta_{s,t}^{ar}$
4	GLM	2038,3	0,255	–	–	1,74	1,72	–	–	–
5	GAM	1657,2	0,333	–	–	1,60	1,71	–	–	–
6	GAM	1870,0	0,339	–	–	1,68	1,72	–	–	–
7	GLMM	883,0	0,473	–	–	1,15	1,67	1,58	83,2	–
8	GAMM	787,5	0,496	–	–	1,12	1,67	1,42	65,6	–
9	GAMM	742,3	0,500	–	–	1,15	1,67	1,42	98,4	–
10	GAMM	632,3	0,523	–	–	1,12	1,67	1,09	57,1	–
11	VAS _{Tiid}	–214,0	0,699	0,547	0,18	0,62	1,60	1,27	126–341, 46 54–145, 46	1,3
12	VAS _{Tgw}	–261,9	0,702	0,548	0,55	0,62	1,60	1,18	165–430, 48 50–129, 48	1,3
13	VAS _{Tar}	–306,8	0,705	0,552	0,27	0,62	1,60	1,15	148–373, 48 52–132, 48	1,3

Стоит отметить, что распределение Твиди было выбрано не зря. Его степенной коэффициент P снижался от 1,7 у худших моделей до 1,6 у лучших. Такой P далек от 2, поэтому нет нужды рассматривать варианты конфигураций моделей типа дельта, в которых ненулевые уловы моделировались бы распределением Гамма ($P = 2$) или близким к нему логнормальным. Здесь в моделях с распределениями Твиди доверительные интервалы (C.I.) должны выходить уже, чем в случае с логнормальным или распределением Гамма. Меньшая неопределенность итоговой биомассы (низкие SE по годам) крайне важна для более точной настройки моделей биологических процессов в пространстве состояний, которые способны учитывать ошибку наблюдения (τ) отдельно от ошибки процесса (σ).

Все более простые модели (чем VAST) провалили диагностику и тестирование OOB в связи с крайне высокой SE коэффициентов лет, введенных в них как независимые факторы. Разработчик моделей VAST рекомендует не включать авторегрессию (использовать VAS_{Tiid}), если съемки проводятся регулярно по одинаковой сетке станций, но в обратном случае VAS_{Tar} может быть более предпочтительна [Thorson, 2019]. В нашем случае VAS_{Tar} можно назвать победительницей для задач интерполяции, но статистический вес OOB (обобщающая способность) все же выше у VAS_{Tgw} модели, а рекомендуемая по умолчанию VAS_{Tiid} не намного хуже VAS_{Tar} по всем показателям. Эффекты D по всем моделям различались незначительно, но в модели VAS_{Tar} эффект T отличался значительно (рис. 2).

Таким образом, мы применили ансамблевый подход вместо выбора одной лучшей модели, чтобы учесть лучшие стороны каждой из моделей VAST. Например, в ансам-

блевой модели VAST эффект T уже не имеет столь сильного влияния на плотность трески не только в логарифмическом масштабе, но и в реальном, сохранив пороговый негативный эффект отрицательных T (рис. 3).

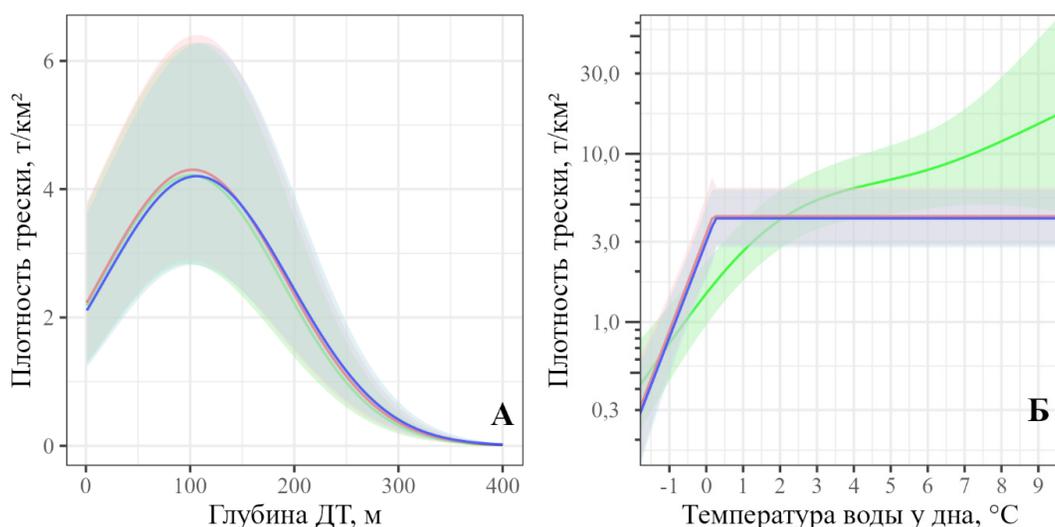


Рис. 2. Распределение С.И. вокруг медиан плотности трески (т/км²): А — по глубине ДТ (м) при фиксации на уровне медианы $T = 2,1$ °C; Б — по температуре воды у дна (°C) при фиксации на уровне медианы $D = 93$ м, найденные в моделях VASTiId (синяя линия), VASTrw (красная) и VASTar (зеленая линия) в 2021 г.

Fig. 2. Distribution of C.I. around the median cod density (t/km²) in VASTiId (blue line), VASTrw (red) and VASTar (green line) models in 2021: А — by depth of bottom trawling (m) for the median $T = 2.1$ °C; Б — by water temperature at the bottom (°C) for the median $D = 93$ m

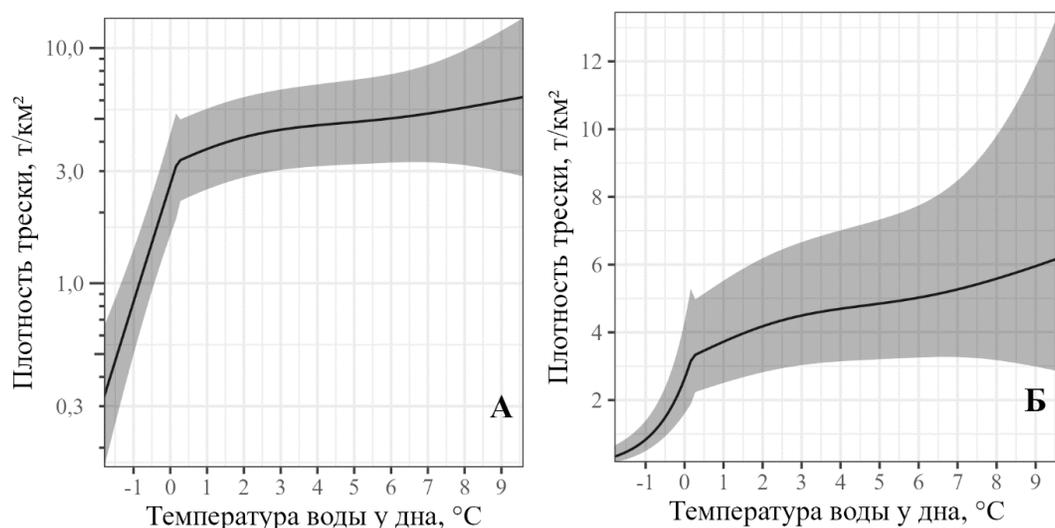


Рис. 3. Распределение С.И. вокруг медиан плотности трески (т/км²) по температуре воды у дна (°C) при фиксации на уровне медианы $D = 93$ м, найденные в ансамблевой VAST в 2021 г.: А — в логарифмическом масштабе оси ординат; Б — в реальном масштабе оси ординат

Fig. 3. Distribution of C.I. around the median cod density (t/km²) by water temperature at the bottom (°C) for the median $D = 93$ m in the ensemble VAST in 2021: А — logarithmic scale of ordinate axis; Б — real scale of ordinate axis

Результат пространственного ансамблевого моделирования распределения биомассы трески представлен в соседние годы максимальных изменений, как наиболее показательных, — с 2013 по 2018 г. — в единой шкале $\log_{10}(\text{т/км}^2)$ на рис. 4, а также дан по всем годам при восстановлении на 5 августа со свободной шкалой для более контрастного отображения изменений в пространстве за каждый год в приложении (прил. 3). Межгодичная динамика промысловой биомассы, вычисленной в ансамблевой VAST, не испытывает таких резких изменений, как в отдельной VASTiid, но и не является слишком гладкой, как в VASTar (рис. 5).

Использование всех индексов VAST без учета опубликованных ранее оценок SSB [Савин, 2023] позволяет уложить динамику биологического процесса из JABBA в доверительные интервалы индексов VAST при q , примерно равном 0,69 для ансамблевой модели VAST (рис. 6, прил. 4).

С одной стороны, такая настройка показывает, что локальная виртуальная «популяция» трески вполне могла обеспечить рост биомассы свыше 1 млн т в 2016–2017 гг., а затем произошло ее резкое снижение из-за превышения приемной емкости (около 885 тыс. т) и рекомендуемого в модели JABBA максимального устойчивого улова — $MSY = 57$ тыс. т, С.И. от 38 до 88 тыс. т или уровня эксплуатации уязвимой биомассы — $H_{MSY} = 13,8$ %.

Данная настройка JABBA имеет низкий корень среднеквадратичной ошибки — $RMSE = 22,2$ %, а значимая автокорреляция в ошибках подгонки к индексам VAST не обнаружена. При этом ансамблевый VAST занижает биомассу примерно в 1,45 раза относительно динамики биомассы виртуальной «популяции» трески в ЗБ.

С другой стороны, ретроспективный анализ с шагом прогноза на 1 год вперед показал систематические ошибки модели JABBA, находящиеся за пределами допустимого интервала показателя Мона (Mohn's ρ) [Mohn, 1999]. Он допустим в интервале между $-0,15$ и $0,2$ для среднецикловых придонных рыб типа камбал [Hurtado-Ferro et al., 2015]. Средний Mohn's ρ по биомассе здесь около $0,32$, а по промысловой смертности — около $-0,16$. Также за допустимый предел от $0,2$ до $0,8$ вышли значения p из проверки прогностической способности апостериорных распределений (PPC — Posterior Predictive Checks with Bayesian p values). Например, Bayesian $p = 0,14$ у модели VASTiid, Bayesian $p = 0,99$ у модели VASTrw, Bayesian $p = 0,89$ у модели VASTar, а у ансамблевой модели VAST Bayesian $p = 0,99$. При всей критике PPC, когда Bayesian p у идеальной модели равен $0,5$, значения Bayesian p , выходящие за пределы $0,05$ – $0,95$, должны однозначно интерпретироваться как комплексное несоответствие модели и данных [Conn et al., 2018]. Следовательно, для прогнозирования динамики биомассы данная настройка JABBA недостаточно надежна.

Учет ранее опубликованных оценок SSB трески [Савин, 2023] совместно с ансамблевой VAST в настройке JABBA позволяет успешно пройти проверки из ретроспективного анализа с прогнозом на 1 год вперед по биомассе (Mohn's $\rho = 0,04$) и промысловой смертности (Mohn's $\rho = -0,02$) (прил. 5), а также PPC (Bayesian $p = 0,58$ у ансамблевой модели VAST и Bayesian $p = 0,47$ у SSB). Следовательно, финальная настройка JABBA пригодна для прогнозирования динамики биомассы трески в зависимости от ее уловов в ЗБ, но $RMSE$ находится на высоком уровне в $41,5$ %, а в индексе SSB есть значительные заблокированные отклонения. При этом ансамблевый VAST занижает биомассу примерно в 1,5 раза ($q = 0,666$), а опубликованные оценки SSB [Савин, 2023] завышены относительно динамики биомассы виртуальной «популяции» трески в ЗБ в среднем в 1,18 раза ($q = 1,18$).

Приведенные в единый масштаб ряды динамики биомассы в JABBA через q по большей части С.И. совпадают (рис. 7). Снижение биомассы после 2017 г. снова укладывается в JABBA на основании допущения о том, что была превышена приемная емкость (около 615 тыс. т) и $MSY = 41$ тыс. т (С.И. от 27 до 65 тыс. т) или $H_{MSY} = 13,6$ % (С.И. от 7,0 до 22,6 %).

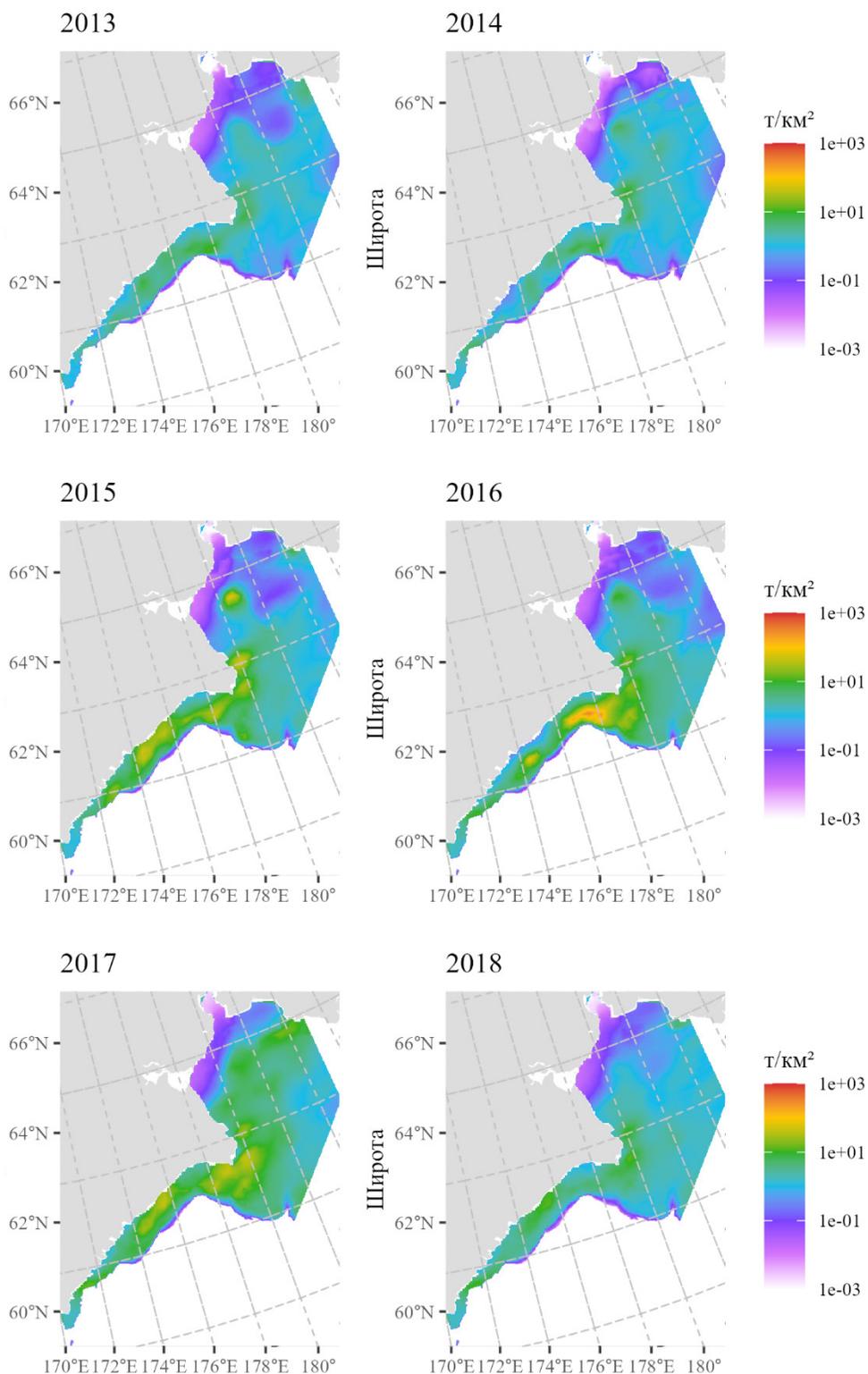


Рис. 4. Пространственно-временные изменения промысловой плотности трески (t/km^2) в ЗБ с 2013 по 2018 г. в едином масштабе логарифмической шкалы, приведённые к 5 августа
 Fig. 4. Spatio-temporal changes in density distribution of pasific cod (t/km^2) in the Western Bering Sea fishing zone in the period between 2013 and 2018 recalculated for the date August, 5 (common logarithmic scale for all years)

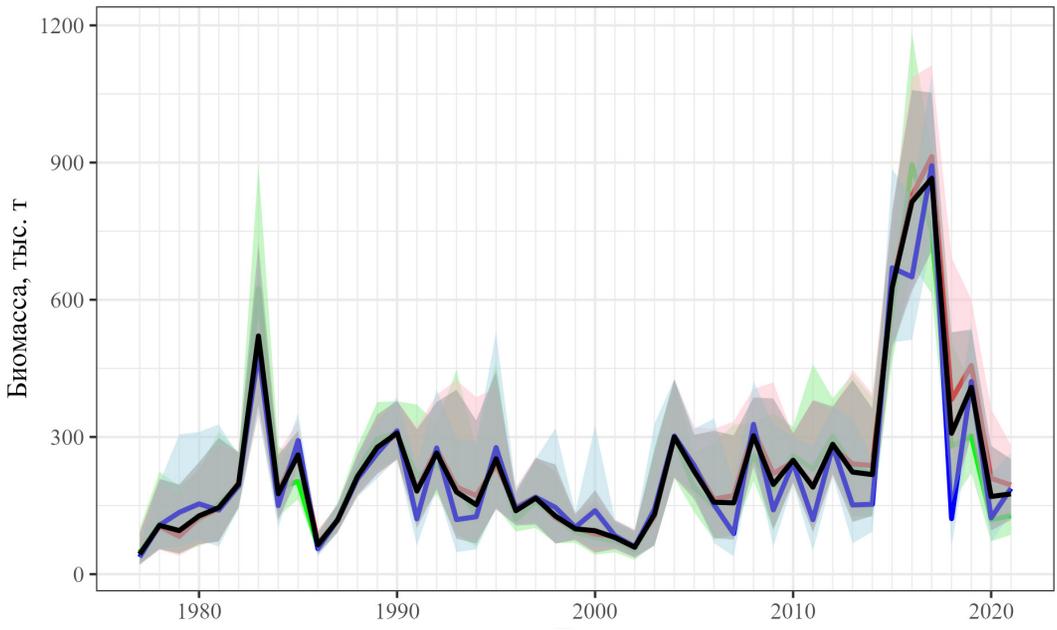


Рис. 5. Распределение С.И. вокруг медиан промысловой биомассы трески (тыс. т), найденные в VASTiid (синяя линия), VASTrw (красная), VASTar (зеленая) и ансамблевой VAST (черная линия)

Fig. 5. Distribution of C.I. around the median cod biomass (10^3 t) in VASTiid (blue line), VASTrw (red line), VASTar (green line) and ensemble VAST (black line) models

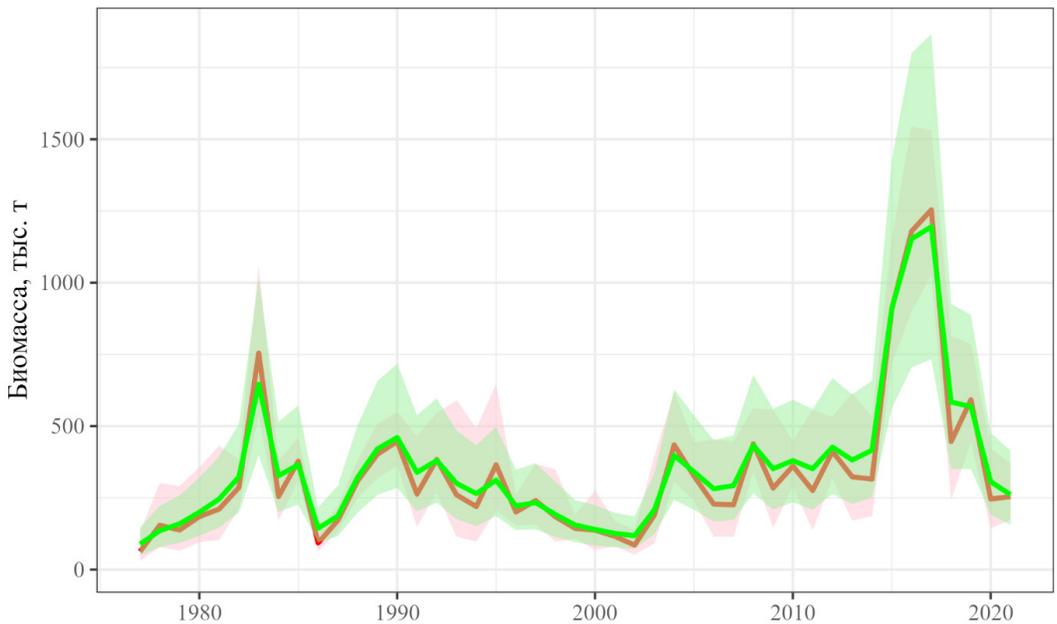


Рис. 6. Распределение С.И. вокруг медианы биомассы трески (тыс. т), найденной в ансамблевой модели VAST (красная линия) с учетом $q = 0,69$, и динамика биомассы из JABBA (зеленая линия), настроенной по всем индексам из моделей VAST

Fig. 6. Distribution of C.I. around the median cod biomass in thousand tons, found in the ensemble VAST model (red line) taking into account $q = 0.69$, and the dynamics of biomass from JABBA, adjusted for all indices from VAST models (green line)

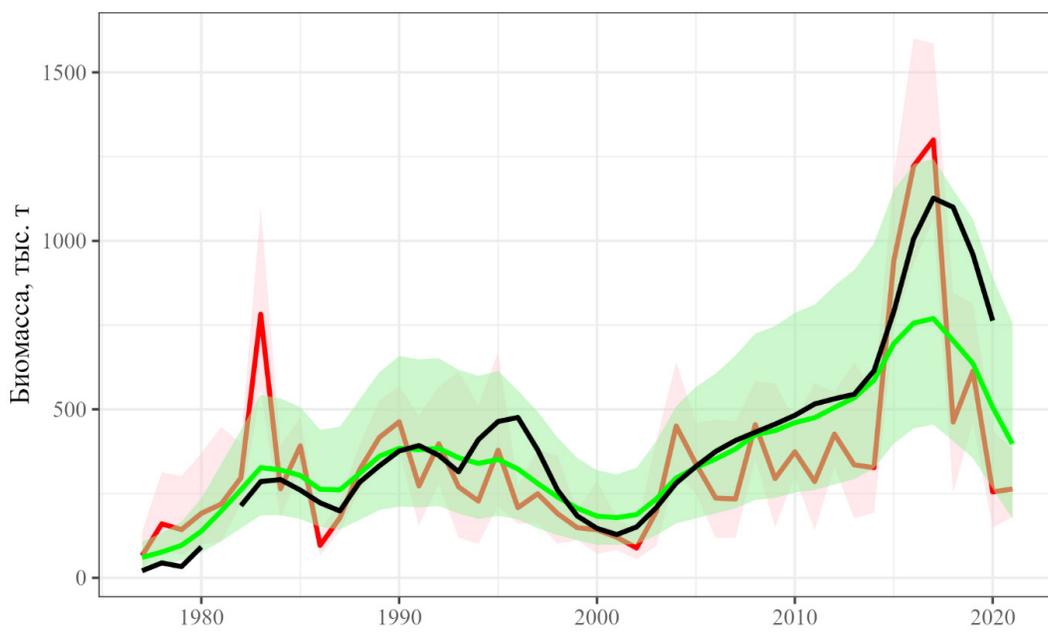


Рис. 7. Распределение С.И. вокруг медианы биомассы трески (тыс. т), найденной в ансамблевой модели VAST (красная линия) с учетом $q = 0,666$, динамика биомассы из JABBA, настроенная с учетом SSB (зеленая линия) и SSB (черная линия) [по: Савин, 2023] с коррекцией через $q = 1,18$

Fig. 7. Distribution of C.I. around the median cod biomass (103 t) in the ensemble VAST model (red line) with $q = 0.666$ and dynamics of cod biomass assessed by JABBA taking into account SSB (green line) and SSB [from Savin, 2023] with correction by $q = 1.18$ (black line)

Если допустить, что в опубликованных ранее оценках SSB [Савин, 2023] нет смещения, а в JABBA оценена динамика уязвимой биомассы только аборигенной трески в ЗБ, тогда разница между ними может быть отнесена к аномальной биомассе «лишней» трески, а ее доля вычислена (рис. 8).

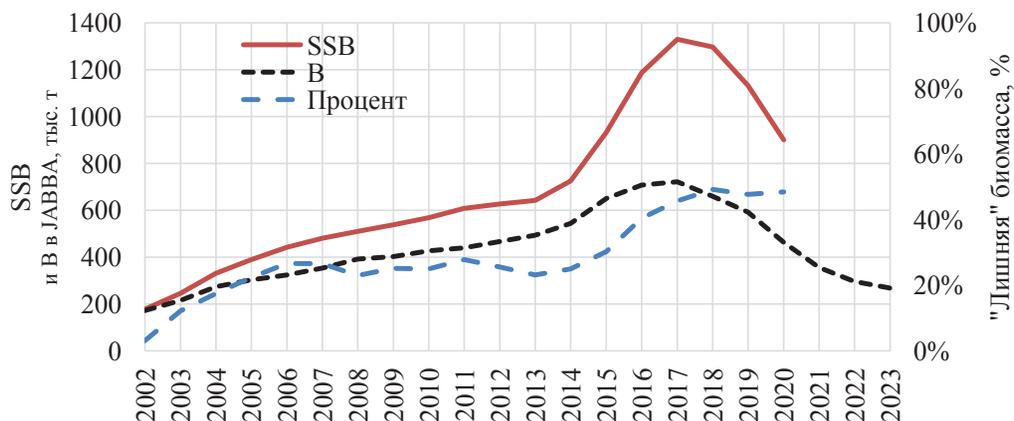


Рис. 8. Динамика SSB [по: Савин, 2023], уязвимой биомассы В из JABBA и доли «лишней» биомассы трески в ЗБ

Fig. 8. Dynamics of SSB [from: Savin, 2023], vulnerable biomass B (from JABBA) and percent portion of «extra» cod biomass in the Western Bering Sea fishing zone

После достижения максимума биомасс в 2017 г. доля «лишней» трески продолжила расти до 0,49 в 2018 г., а после снизилась до 0,48 в 2019–2020 гг. Эта высокая

доля «лишней» трески, скорее всего, помогла достичь самых высоких уловов на усилии (индекс численности CPUE > 13 т на судо-сутки) в 2019–2020 гг. при снижении биомассы. Известно, что при равной биомассе в соседние годы CPUE может значительно различаться по множеству причин, включая гидрологические аномалии. Мы их нашли в результате анализа ЭОФ, который показал, что всего 4 основные моды совместно описывают более 80 % дисперсии T , а дальнейшее увеличение числа выбранных мод незначительно увеличит кумулятивную дисперсию (рис. 9).

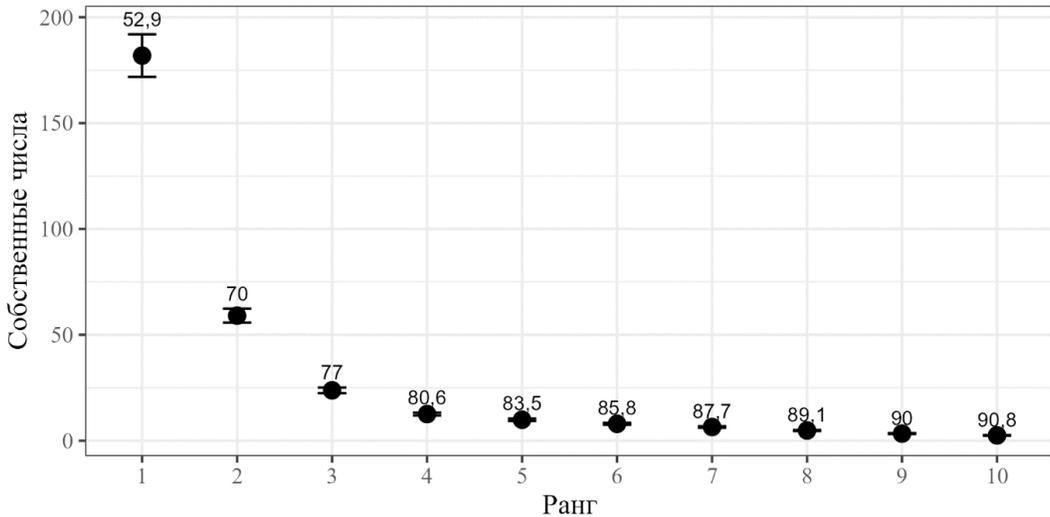


Рис. 9. График каменистой осыпи с указанием доли (%) описанной дисперсии над рангом каждой выделенной моды ЭОФ

Fig. 9. Eigenvalues against eigenvalue number (scree plot) and cumulative variance as % of total for each eigenvalue

Пространственное распределение оценок ЭОФ 1 сильно связано с прибрежной акваторией до изобаты в 50 м, ЭОФ 2 лучше всего показывает изменения вокруг изобаты 100 м в юго-восточной части шельфа Берингова моря, максимальные значения ЭОФ 3 приходятся на пересечение границы ЗБ и изобаты 100 м, а ЭОФ 4 — внутри ЗБ и Чукотской зоны (рис. 10).

Амплитуда годовых тенденций ЭОФ показывает, что резкие изменения тенденций среди ближайших лет происходили в 2010, 2016 и 2020 гг. (рис. 11). При этом ЭОФ 1 и 3 достигли исторического максимума в 2019 г., а затем начали резко снижаться. Одновременно ЭОФ 4 и 2 стремились к крайне низким значениям, достигнутым в 2020–2021 гг., с последующим резким увеличением. Следствием таких аномалий является резкое сокращение акватории с положительной T по частично западному (ЭОФ 4) и восточному (ЭОФ 2) краям ареала трески на шельфе северной части Берингова моря. В положительном ядре ЭОФ 3, наоборот, произошло резкое увеличение акватории с положительной T , так же как и в северном направлении в прибрежных водах и в Анадырском лимане (ЭОФ 1). Таким образом, максимальные CPUE и уловы, скорее всего, были следствием сжатия реализованной ниши трески и открытием северного пути в прибрежных водах для ее миграций.

Ранее мы уже находили скрытое поле, вычисленное из CPI в VAST, со схожим с ЭОФ 3 контуром ядра плотности, влияющим на обилие трески в обратной зависимости (рис. 12). Здесь же найденная ЭОФ 3 вычислена независимо от плотностей трески в ЭОФ по T .

Благодаря учёту ошибки процесса (σ) в JABBA с максимумом после 1980-х гг. в 2015 г. модель JABBA частично смогла описать резкий рост биомассы трески в ЗБ к 2017 г., но неполностью (см. рис. 7).

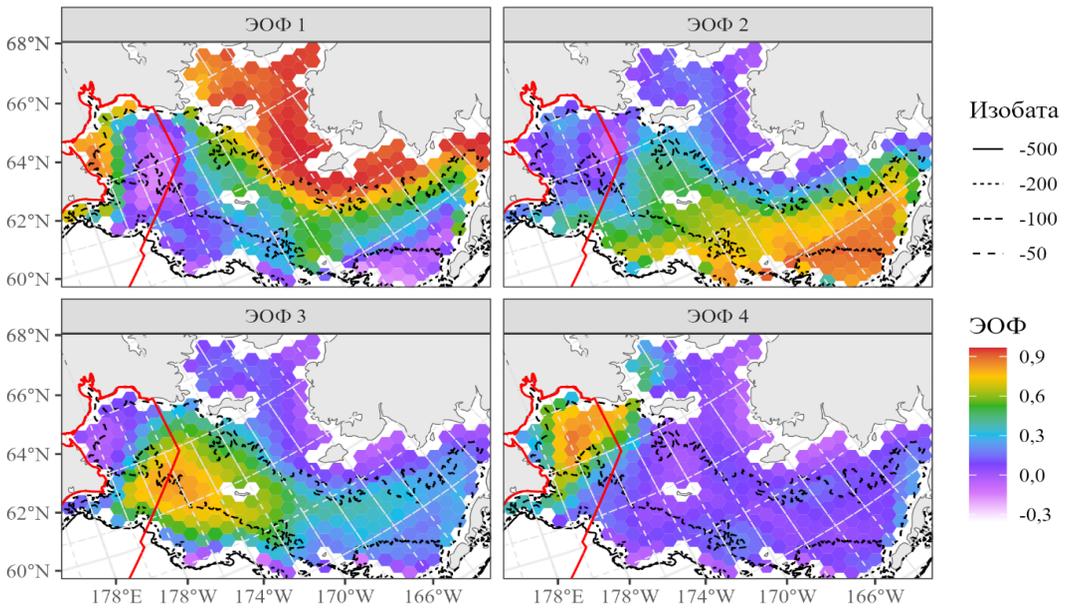


Рис. 10. Пространственные оценки ортогонального вращения методом varimax самых важных 4 ЭОФ, масштабированные квадратным корнем из соответствующих собственных чисел. Граница ЗБ показана красной линией

Fig. 10. The most important 4 EOFs with orthogonal rotation using the varimax method scaled by the square root of corresponding eigenvalues. Boundary of the Western Bering Sea fishing zone is shown with red line

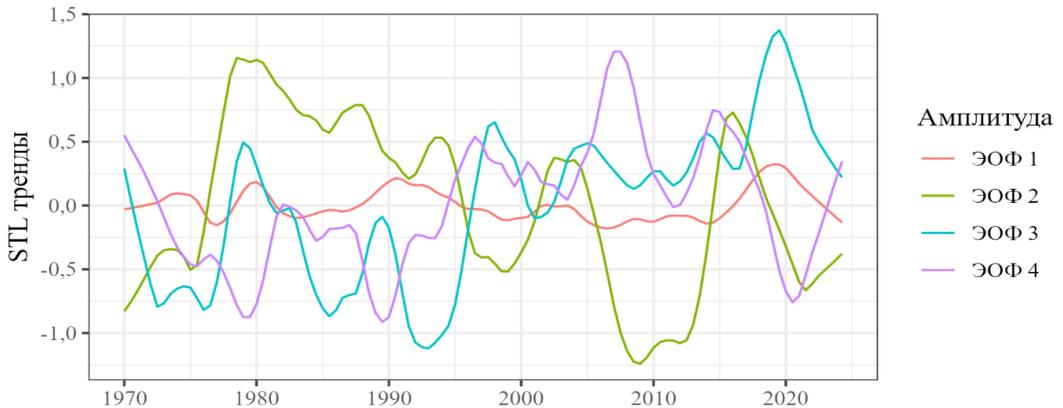


Рис. 11. Тенденции ЭОФ после вычета сезонной компоненты методом STL: ЭОФ 1 — в прибрежном районе в основном северной части шельфа до изобаты 50 м; 2 — глубже 50 м в юго-восточной части шельфа; 3 — вокруг изобаты 100 м на границе ИЭЗ России и США; 4 — в пределах изобат 50 и 100 м в Западно-Беринговоморской и Чукотской зонах в северной части Берингова моря

Fig. 11. EOF variations after extraction of seasonal variability with STL method: 1 — in the coastal area mainly on the northern shelf; 2 — on the southeastern shelf deeper than 50 m; 3 — around 100 m isobath at the border between EEZ of Russia and USA; 4 — in the northern Bering Sea between 50–100 m isobaths, within the Western Bering Sea and Chukchi fishing zones

Стоит отметить, что в экстремальные годы σ достигала таких высоких значений, что они были близки к скорости мгновенного пополнения популяции (r) (рис. 13), что ставит надёжность прогнозирования в JABBA на основе динамики уловов под большое сомнение, несмотря на отличную диагностику PPC и низкие показатели Мона в

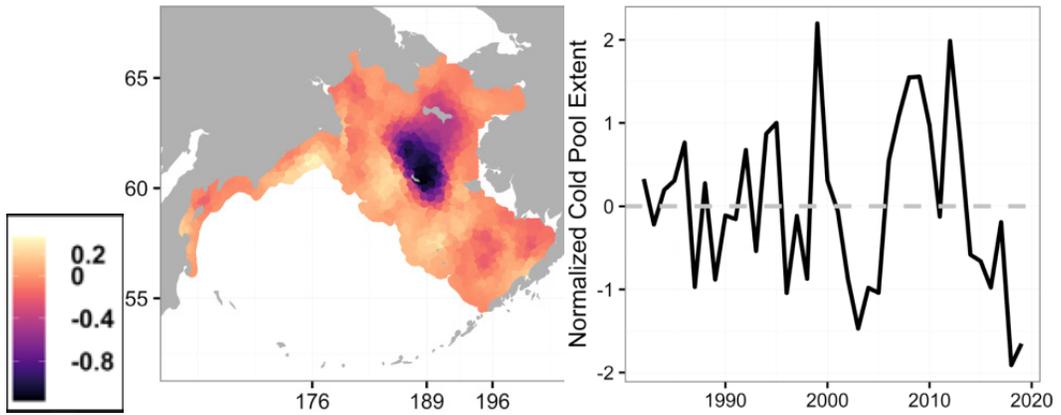


Рис. 12. Пространственный эффект CPI на треску (слева), а также нормализованный CPI (справа) [O’Leary et al., 2022]

Fig. 12. Spatial effect of CPI (left panel) and normalized CPI (right panel) on cod [O’Leary et al., 2022]

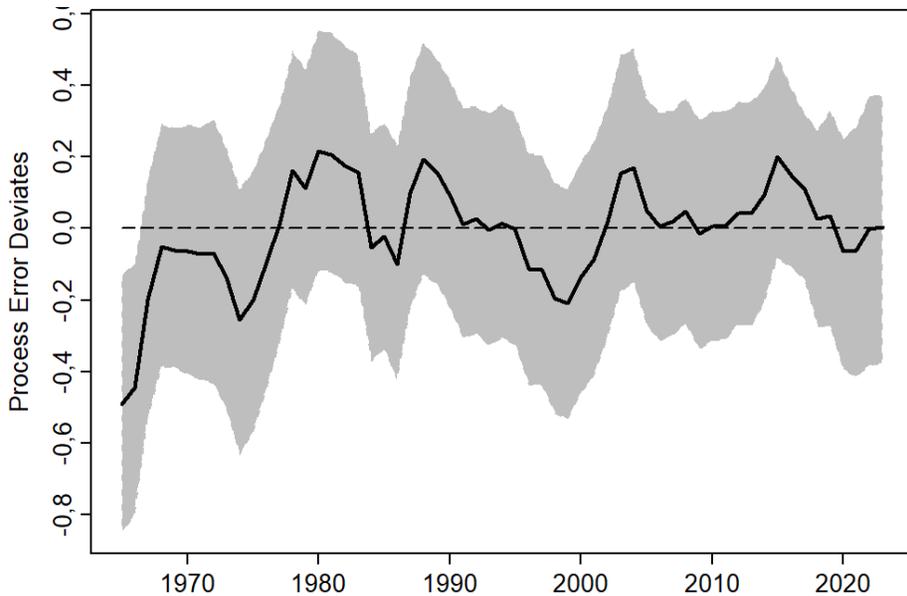


Рис. 13. Ошибка биологического процесса (Process Error Deviates) по годам в JABBA для трески в ЗБ относительно динамики модельной биомассы

Fig. 13. Biological process error deviates in JABBA for pacific cod in the Western Bering Sea fishing zone relative to dynamics of the modeled cod biomass, by years

ретроспективном анализе (см. прил. 5). В модели JABBA для прогнозирования в таких условиях разработан вариант прогноза с учетом авторегрессии, находящейся в ошибках процессов. В итоге такого прогноза тенденция в ошибках будет играть весомую роль, что может привести к ещё большим ошибкам в будущем, если распределение отрицательных аномалий придонной температуры будет изменяться не плавно, а резко. Таким образом, без прогнозирования распределения придонной температуры воды эксплуатация запаса трески в ЗБ будет менее рациональной.

Заключение

На основе материалов донных траловых съёмов, проведённых в тёплый период лет с 1977 по 2021 г., выявлена высокая статистическая значимость $p < 0,001$ ква-

дратичной зависимости плотности трески в Западно-Беринговоморской зоне от глубины и порогового нелинейного эффекта температуры воды у дна. Модели, не включавшие дополнительно пространственно-временную компоненту, гораздо хуже подходили к наблюдениям, чем модели VAST. Более простые модели имели недопустимо высокие ошибки коэффициентов лет, поэтому они не пригодны для использования в моделях биологических процессов, учитывающих ошибку наблюдения отдельно по годам. Следовательно, мы рекомендуем внедрить в практику оценки динамики биомассы трески в Западно-Беринговоморской зоне модели VAST с учетом придонной температуры воды и глубины траления. Разработка собственной региональной океанической модели для Берингова моря с ассимиляцией всех новых данных, собранных российскими исследовательскими судами, вместо использованной здесь общедоступной модели может повысить точность оценки биомасс трески и прогноза ее изменений.

Анализ ЭОФ помог нам объяснить причину расхождения тенденций в динамике биомассы и CPUE с уловами. Несмотря на снижение биомасс во всех моделях с 2018 г., CPUE и уловы увеличивались до 2019 и 2020 гг. по причине соответственно резкого сжатия акватории с положительной придонной температурой в направлении к границе между ИЭЗ США и России, с расширением акватории с положительными T в прибрежной северной части шельфа Берингова моря, что увеличило плотность мигрирующей трески и прибрежной, повышая эффективность лова всех орудий. Затем такое аномальное распределение T стало возвращаться к норме, приближая ошибку биологического процесса в JABBA к нулю.

Динамика биомассы трески в Западно-Беринговоморской зоне исключительно из моделей VAST полностью укладывается в доверительный интервал в JABBA. Резкое снижение биомассы в последние годы может объясняться превышением приемной емкости и переловом как минимум по росту (если допускать существование независимой популяции трески в этой зоне). Разница ранее опубликованных оценок SSB с биомассой, найденной в JABBA, резко увеличилась в 2016 г. до 40 %, достигнув максимума в 49 % в 2018 г., при полном совпадении сравниваемых биомасс в начале 21-го века. Мы назвали эту разницу «лишней» биомассой относительно стационарной популяции. Такая «лишняя» биомасса может в некоторой степени характеризовать интенсивность миграции трески из сопредельных с Западно-Беринговоморской зоной акваторий.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают признательность всем участникам научных рейсов, чьи материалы были использованы для настройки моделей.

The authors are thankful to all members of scientific cruises whose materials are used to adjust the models.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The study was not sponsored.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

All applicable international, national and/or institutional principles for the care and use of animals have been observed.

The authors state that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Концепция исследования, расчеты, написание текста — В.В. Кулик, написание текста, расчёт SSB и редакторская правка — А.Б. Савин.

Research concept, calculations, and text writing and illustration — V.V. Kulik; text writing, SSB calculations and editing — A.B. Savin.

Список литературы

Аксютин З.М. Количественная оценка скопления рыб методом изолиний // Тр. ВНИРО. — 1970а. — Т. 71. — С. 302–308.

Аксютин З.М. Об использовании электронных вычислительных машин для анализа распределения и количественной оценки популяции рыб // Тр. ВНИРО. — 1970б. — Т. 71. — С. 309–318.

Аксютин З.М. Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях : моногр. — М. : Пищ. пром-сть, 1968. — 288 с.

Бизиков В.А., Гончаров С.М., Поляков А.В. Географическая информационная система «Картмастер» // Рыб. хоз-во. — 2007. — № 1. — С. 96–99.

Василенко В.А. Сплайн-функции: теория, алгоритмы, программы : моногр. — Новосибирск : Наука, 1983. — 212 с.

Кулик В.В., Алферов А.И., Горюнов М.И. Оценка максимального устойчивого улова малогазлого макруруса *Albatrossia pectoralis* (Macrouridae) на Дальнем Востоке России на основе байесовской продукционной модели JABBA // Изв. ТИНРО. — 2023. — Т. 203, вып. 2. — С. 443–463. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-443-463. EDN: XCSYXY.

Кулик В.В., Глебов И.И., Асеева Н.Л., Новиков Р.Н. Оценка состояния запаса черного палтуса (*Reinhardtius hippoglossoides matsuurae*) в Охотском море // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 2. — С. 466–497. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-466-497. EDN: FHOWDD.

Кулик В.В., Горюнов М.И. Применение метода машинного обучения для оценки биомассы трески в Северо-Курильской зоне // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 4. — С. 1002–1014. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-1002-1014. EDN: IAVNBZ.

Макрофауна бентали западной части Берингова моря: таблицы встречаемости, численности и биомассы. 1977–2010 / В.П. Шунтов, И.В. Волвенко, В.В. Кулик, Л.Н. Бочаров ; под ред. В.П. Шунтова и Л.Н. Бочарова. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2014. — 803 с.

Поляков А.В. КартМастер 4.1. Построение и анализ карт распределения запаса. — М. : ВНИРО, 2008. — 183 с.

Савин А.Б. Запасы и промысел трески (*Gadus macrocephalus*, Gadidae) северо-западной части Берингова моря в 1965–2022 гг. // Изв. ТИНРО. — 2023. — Т. 203, вып. 3. — С. 465–489. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-465-489. EDN: YZFXBY.

Савин А.Б. Пространственное распределение, нагульные миграции и динамика запасов трески в Беринговом море : отчет о НИР (годовой) / ТИНРО. № ГР НИОКТР ААА-А19-119031590063-4; Инв. № 28816. — Владивосток, 2021. — 46 с.

Савин А.Б. Ресурсы рыб в придонных биотопах шельфа и верхнего края свала глубин северо-западной части Берингова моря // Изв. ТИНРО. — 2018. — Т. 192. — С. 15–36. DOI: 10.26428/1606-9919-2018-192-15-36.

Савин А.Б., Глебов И.И. Современное состояние запасов демерсальных рыб на шельфе исключительной экономической зоны России северо-западной части Берингова моря // Изв. ТИНРО. — 2016. — Т. 187. — С. 89–109. DOI: 10.26428/1606-9919-2016-187-89-109.

Anderson S.C., Ward E.J., English P.A. et al. sdmTMB: an R package for fast, flexible, and user-friendly generalized linear mixed effects models with spatial and spatiotemporal random fields : bioRxiv. — 2024. — 50 p. DOI: 10.1101/2022.03.24.485545.

Bolker B.M., Brooks M.E., Clark C.J. et al. Generalized linear mixed models: a practical guide for ecology and evolution // Trends Ecol. Evol. — 2009. — Vol. 24, Iss. 3. — P. 127–135. DOI: 10.1016/j.tree.2008.10.008.

Cleveland R.B., Cleveland W.S., McRae J.E., Terpenning I. STL: A Seasonal-Trend Decomposition Procedure Based on Loess // J. of Official Statistics. — 1990. — Vol. 6, Iss. 1. — P. 3–73.

Conn P.B., Johnson D.S., Williams P.J. et al. A guide to Bayesian model checking for ecologist // Ecol. Monogr. — 2018. — Vol. 88, Iss. 4. — P. 526–542. DOI: 10.1002/ecm.1314.

- Edwards A.M., Auger-Méthé M.** Some guidance on using mathematical notation in ecology // *Methods Ecol. Evol.* — 2019. — Vol. 10. — P. 92–99. DOI: 10.1111/2041-210X.13105
- Fuglstad G.-A., Lindgren F., Simpson D., Rue H.** Exploring a new class of non-stationary spatial Gaussian random fields with varying local anisotropy // *Statistica Sinica.* — 2015. — Vol. 25, № 1. — P. 115–133. DOI: 10.5705/ss.2013.106w.
- Hannachi A., Jolliffe I.T., Stephenson D.B.** Empirical orthogonal functions and related techniques in atmospheric science: A review // *Int. J. Climatol.* — 2007. — Vol. 27. — P. 1119–1152. DOI: 10.1002/joc.1499.
- Haskard K.A.** An anisotropic Matern spatial covariance model: REML estimation and properties : Doctoral dissertation. — Australia : The University of Adelaide, 2007. — 197 p.
- Hastie T., Tibshirani R.** *Generalized Additive Models: Wiley StatsRef: Statistics Reference Online*, 2014. DOI: 10.1002/9781118445112.stat03141.
- Hurtado-Ferro F., Szuwalski C.S., Valero J.L. et al.** Looking in the rear-view mirror: bias and retrospective patterns in integrated, age-structured stock assessment models // *ICES J. Mar. Sci.* — 2015. — Vol. 72, Iss. 1. — P. 99–110. DOI: 10.1093/icesjms/fsu198.
- Hyndman R.J., Khandakar Y.** Automatic Time Series Forecasting: The forecast Package for R // *J. Stat. Soft.* — 2008. — Vol. 27, Iss. 3. — P. 1–22. DOI: 10.18637/jss.v027.i03.
- Jørgensen B.** *The Theory of Dispersion Models : Monogr. Stat. Appl. Probab. (Book 76).* — L. : Chapman and Hall, 1997. — 256 p.
- Kearney K., Hermann A., Cheng W. et al.** A coupled pelagic-benthic-sympagic biogeochemical model for the Bering Sea: documentation and validation of the BESTNPZ model (v2019.08.23) within a high-resolution regional ocean model // *Geosci. Model Dev.* — 2020. — Vol. 13, Iss. 2. — P. 597–650. DOI: 10.5194/gmd-13-597-2020.
- Kokkalis A., Berg C.W., Kapur M.S. et al.** Good practices for surplus production models // *Fish. Res.* — 2024. — Vol. 275. 107010. DOI: 10.1016/j.fishres.2024.107010.
- Kulik V., Sokolenko D., Goryunov M. et al.** Essential fish habitats in the Western Bering Sea // *PICES 2023 Annual Meeting : Connecting Science and Communities for Sustainable Seas.* — Seattle, USA : PICES, 2023. — P. 236.
- Lindgren F., Rue H., Lindström J.** An explicit link between Gaussian fields and Gaussian Markov random fields: The stochastic partial differential equation approach // *J. R. Stat. Soc. Ser. B Stat. Methodol.* — 2011. — Vol. 73, Iss. 4. — P. 423–498. DOI: 10.1111/j.1467-9868.2011.00777.x.
- Mohn R.** The retrospective problem in sequential population analysis: An investigation using cod fishery and simulated data // *ICES J. Mar. Sci.* — 1999. — Vol. 56. — P. 473–488.
- O’Leary C.A., DeFilippo L.B., Thorson J.T. et al.** Understanding transboundary stocks’ availability by combining multiple fisheries-independent surveys and oceanographic conditions in spatiotemporal models // *ICES J. Mar. Sci.* — 2022. — Vol. 79, Iss. 4. — P. 1063–1074. DOI: 10.1093/icesjms/fsac046.
- Pebesma E.** Simple Features for R: Standardized Support for Spatial Vector Data // *The R Journal.* — 2018. — Vol. 10, № 1. — P. 439–446. DOI: 10.32614/RJ-2018-009.
- Pebesma E., Bivand R.** *Spatial Data Science: With Applications in R.* — N.Y. : Chapman and Hall/CRC, 2023. — 314 p. DOI: 10.1201/9780429459016.
- Richman M.B.** Rotation of principal components // *J. Climatol.* — 1986. — Vol. 6, Iss. 3. — P. 293–335. DOI: 10.1002/joc.3370060305.
- Sakamoto Y., Ishiguro M., Kitagawa G.** *Akaike Information Criterion Statistics : Mathematics and its Applications.* — Springer Netherlands, 1986. — 290 p.
- Thorson J.T.** Guidance for decisions using the Vector Autoregressive Spatio-Temporal (VAST) package in stock, ecosystem, habitat and climate assessments // *Fish. Res.* — 2019. — Vol. 210. — P. 143–161. DOI: 10.1016/j.fishres.2018.10.013.
- Thorson J.T., Maureaud A.A., Frelat R. et al.** Identifying direct and indirect associations among traits by merging phylogenetic comparative methods and structural equation models // *Methods Ecol. Evol.* — 2023. — Vol. 14, Iss. 5. — P. 1259–1275. doi 10.1111/2041-210X.14076.
- Venables W.N., Dichmont C.M.** GLMs, GAMs and GLMMs: an overview of theory for applications in fisheries research // *Fish. Res.* — 2004. — Vol. 70, Iss. 2–3. — P. 319–337. DOI: 10.1016/j.fishres.2004.08.011.
- Winker H., Carvalho F., Kapur M.** JABBA: Just Another Bayesian Biomass Assessment // *Fish. Res.* — 2018. — Vol. 204. — P. 275–288. DOI: 10.1016/j.fishres.2018.03.010.
- Wood S.N.** *Generalized Additive Models: An Introduction with R.* — N.Y. : Chapman and Hall/CRC, 2017. 2nd ed. — 496 p. DOI: 10.1201/9781315370279.

- Wood S.N.** Thin plate regression splines // J. R. Statist. Soc. B (Statistical Methodology). — 2003. — Vol. 65, № 1. — P. 95–114. DOI: 10.1111/1467-9868.00374.
- Yao Y., Vehtari A., Simpson D., Gelman A.** Using Stacking to Average Bayesian Predictive Distributions (with Discussion) // Bayesian Anal. — 2018. — Vol. 13, № 3. — P. 917–1007. DOI: 10.1214/17-BA1091.
- Zhang Z., Moore J.C.** Empirical Orthogonal Functions // Mathematical and Physical Fundamentals of Climate Change. — Boston : Elsevier, 2015. — P. 161–197.
- Zuur A.F., Ieno E.N., Walker N. et al.** Mixed effects models and extensions in ecology with R. — N.Y. : Springer Verlag, 2009. — 574 p.

References

- Aksyutina, Z.M.**, Quantitative assessment of fish aggregations by the method of contour lines, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1970, vol. 71, pp. 302–308.
- Aksyutina, Z.M.**, On the use of electronic computers for the analysis of the distribution and quantification of fish populations, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1970, vol. 71, pp. 309–318.
- Aksyutina, Z.M.**, *Elementy matematicheskoi otsenki rezul'tatov nablyudenii v biologicheskikh i rybokhozyaistvennykh issledovaniyakh* (Elements of Mathematical Appraisal of Observation Results in Biological and Fishery Studies), Moscow: Pishchevaya Promyshlennost', 1968.
- Bizikov, V.A., Goncharov, S.M., and Polyakov, A.V.**, Geographic Information System “Kartmaster”, *Rybn. Khoz.*, 2007, no. 1, pp. 96–99.
- Vasilenko, V.A.**, *Splayn-funksii: teoriya, algoritmy, programmy* (Spline functions: theory, algorithms, programs), Novosibirsk: Nauka, 1983.
- Kulik, V.V., Alferov, A.I., and Goryunov, M.I.**, Estimation of the maximum sustainable yield of giant grenadier *Albatrossia pectoralis* (Macrouridae) in the Russian Far East using Bayesian surplus production model JABBA, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2023, vol. 203, no. 2, pp. 443–463. doi 10.26428/1606-9919-2023-203-443-463. EDN: XCSYXY
- Kulik, V.V., Glebov, I.I., Aseeva, N.L., and Novikov, R.N.**, Assessment of the stock status for greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides matsuurae*) in the Okhotsk Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 2, pp. 466–497. doi 10.26428/1606-9919-2022-202-466-497. EDN: FHOWDD
- Kulik, V.V., Goryunov, M.I.**, Application of the machine learning method to estimate the biomass of pacific cod in the North Kuril zone, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 4, pp. 1002–1014. doi 10.26428/1606-9919-2022-202-1002-1014. EDN: IAVNBZ
- Shuntov, V.P., Volvenko, I.V., Kulik, V.V., and Bocharov, L.N.**, *Makrofauna bentali zapadnoi chasti Beringova morya: tablitsy vstrechaemosti, obshchennosti i biomassy. 1977–2010* (Benthic Macrofauna of the Western Part of the Bering Sea: Occurrence, Abundance, and Biomass. 1977–2010), Shuntov, V.P. and Bocharov, L.N., eds., Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2014.
- Polyakov, A.V.**, *KartMaster 4.1. Postroyeniye i analiz kart raspredeleniya zapasa* (CartMaster 4.1. Construction and analysis of stock distribution maps), Moscow: VNIRO, 2008.
- Savin, A.B.**, Stocks and fishery of cod (*Gadus macrocephalus*, Gadidae) in the northwestern Bering Sea in 1965–2022, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2023, vol. 203, no. 3, pp. 465–489. doi 10.26428/1606-9919-2023-203-465-489. EDN: YZFXBY
- Savin, A.B.**, *Otchet Nauchno-Issled. Rab. “Prostranstvennoye raspredeleniye, nagul'nyye migratsii i dinamika zapasov treski v Beringovom more”* (Res. Rep. “Spatial distribution, feeding migrations and dynamics of cod stocks in the Bering Sea”), Available from TINRO, 2021, Vladivostok, no. GR NIOKTR AAA-A19-119031590063-4; inv. no. 28816.
- Savin, A.B.**, Resources of fish in bottom biotopes on the shelf and the upper continental slope in the northwestern Bering Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2018, vol. 192, pp. 15–36, doi 10.26428/1606-9919-2018-192-15-36
- Savin, A.B. and Glebov, I.I.**, Current state of stocks for demersal fish on the continental shelf in the exclusive economic zone of Russia in the northwestern Bering Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2016, vol. 187, pp. 89–109. doi 10.26428/1606-9919-2016-187-89-109
- Anderson, S.C., Ward, E.J., English, P.A., Barnett, L.A.K., and Thorson, J.T.**, sdmTMB: an R package for fast, flexible, and user-friendly generalized linear mixed effects models with spatial and spatiotemporal random fields, *bioRxiv*, 2024. doi 10.1101/2022.03.24.485545

- Bolker, B.M., Brooks, M.E., Clark, C.J., Geange, S.W., Poulsen, J.R., Stevens, M.H.H., and White, J-S.S.**, Generalized linear mixed models: a practical guide for ecology and evolution, *Trends Ecol. Evol.*, 2009, vol. 24, no. 3, pp. 127–135. doi 10.1016/j.tree.2008.10.008
- Cleveland, R.B., Cleveland, W.S., McRae, J.E., and Terpenning, I.**, STL: A Seasonal-Trend Decomposition Procedure Based on Loess, *Jour. of Official Statistics*, 1990, vol. 6, no. 1, pp. 3–73.
- Conn, P.B., Johnson, D.S., Williams, P.J., Melin, S.R. and Hooten, M.B.**, A guide to Bayesian model checking for ecologists, *Ecol. Monogr.*, 2018, vol. 88, issno. 4, pp. 526–542. doi 10.1002/ecm.1314
- Edwards, A.M. and Auger-Méthé, M.**, Some guidance on using mathematical notation in ecology, *Methods Ecol. Evol.*, 2019, vol. 10, pp. 92–99. doi 10.1111/2041-210X.13105
- Fuglstad, G.-A., Lindgren, F., Simpson, D., and Rue, H.**, Exploring a new class of non-stationary spatial Gaussian random fields with varying local anisotropy, *Statistica Sinica*, 2015, vol. 25, no. 1, pp. 115–133. doi 10.5705/ss.2013.106w
- Hannachi, A., Jolliffe, I.T., and Stephenson, D.B.** Empirical orthogonal functions and related techniques in atmospheric science: A review, *Int. J. Climatol.*, 2007, vol. 27, pp. 1119–1152. doi 10.1002/joc.1499
- Haskard, K.A.**, An anisotropic Matern spatial covariance model: REML estimation and properties, *Doctoral dissertation*, Australia: The University of Adelaide, 2007.
- Hastie, T. and Tibshirani, R.**, Generalized Additive Models, *Wiley StatsRef: Statistics Reference Online*, 2014. doi 10.1002/9781118445112.stat03141
- Hurtado-Ferro, F., Szuwalski, C.S., Valero, J.L., Anderson, S.C., Cunningham, C.J., Johnson, K.F., Licandeo, R., McGilliard, C.R., Monnahan, C.C., Muradian, M.L., Ono, K., Vert-Pre, K.A., Whitten, A.R., and Punt, A.E.**, Looking in the rear-view mirror: bias and retrospective patterns in integrated, age-structured stock assessment models, *ICES J. Mar. Sci.*, 2015, vol. 72, no. 1, pp. 99–110. doi 10.1093/icesjms/fsu198
- Hyndman, R.J. and Khandakar, Y.**, Automatic Time Series Forecasting: The forecast Package for R, *J. Stat. Soft.*, 2008, vol. 27, no. 3, pp. 1–22, doi 10.18637/jss.v027.i03
- Jørgensen, B.**, *The Theory of Dispersion Models: Monogr. Stat. Appl. Probab. (Book 76)*, London: Chapman and Hall, 1997.
- Kearney, K., Hermann, A., Cheng, W., Ortiz, I., and Aydin, K.**, A coupled pelagic-benthic-sympagic biogeochemical model for the Bering Sea: documentation and validation of the BESTNPZ model (v2019.08.23) within a high-resolution regional ocean model, *Geosci. Model Dev.*, 2020, vol. 13, no. 2, pp. 597–650, doi 10.5194/gmd-13-597-2020
- Kokkalis, A., Berg, C.W., Kapur, M.S., Winker, H., Jacobsen, N.S., Taylor, M.H., Ichinokawa, M., Miyagawa, M., Medeiros-Leal, W., Nielsen, J.R., and Mildenerberger, T.K.**, Good practices for surplus production models, *Fish. Res.*, 2024, vol. 275, 107010. doi 10.1016/j.fishres.2024.107010
- Kulik, V., Sokolenko, D., Goryunov, M., Nadtochy, V., and Somov, A.** Essential fish habitats in the Western Bering Sea, in *PICES–2023 Annual Meeting: Connecting Science and Communities for Sustainable Seas*, Seattle, USA: PICES, 2023, pp. 236.
- Lindgren, F., Rue, H., and Lindström, J.**, An explicit link between Gaussian fields and Gaussian Markov random fields: The stochastic partial differential equation approach, *J. R. Stat. Soc. Ser. B Stat. Methodol.*, 2011, vol. 73, no. 4, pp. 423–498. doi 10.1111/j.1467-9868.2011.00777.x
- Mohn, R.**, The retrospective problem in sequential population analysis: An investigation using cod fishery and simulated data, *ICES J. Mar. Sci.*, 1999, vol. 56, pp. 473–488.
- O’Leary, C.A., DeFilippo, L.B., Thorson, J.T., Kotwicki, S., Hoff, G.R., Kulik, V.V., Ianelli, J.N., and Punt, A.E.**, Understanding transboundary stocks’ availability by combining multiple fisheries-independent surveys and oceanographic conditions in spatiotemporal models, *ICES J. Mar. Sci.*, 2022, vol. 79, no. 4, pp. 1063–1074. doi 10.1093/icesjms/fsac046
- Pebesma, E.**, Simple Features for R: Standardized Support for Spatial Vector Data, *The R Journal*, 2018, vol. 10, no. 1, pp. 439–446. doi 10.32614/RJ-2018-009
- Pebesma, E. and Bivand, R.**, *Spatial Data Science: With Applications in R*, New York : Chapman and Hall/CRC, 2023. doi 10.1201/9780429459016
- Richman, M.B.**, Rotation of principal components, *J. Climatol.*, 1986, vol. 6, no. 3, pp. 293–335. doi 10.1002/joc.3370060305
- Sakamoto, Y., Ishiguro, M., and Kitagawa, G.**, Akaike Information Criterion Statistics, *Mathematics and its Applications*, Springer Netherlands, 1986.
- Thorson, J.T.**, Guidance for decisions using the Vector Autoregressive Spatio-Temporal (VAST) package in stock, ecosystem, habitat and climate assessments, *Fish. Res.*, 2019, vol. 210, pp. 143–161. doi 10.1016/j.fishres.2018.10.013

Thorson, J.T., Maureaud, A.A., Frelat, R., Mérigot, B., Bigman, J.S., Friedman, S.T., Palomares, M.L.D., Pinsky, M.L., Price, S.A., and Wainwright, P., Identifying direct and indirect associations among traits by merging phylogenetic comparative methods and structural equation models, *Methods Ecol. Evol.*, 2023, vol. 14, no. 5, pp. 1259–1275. doi 10.1111/2041-210X.14076

Venables, W.N. and Dichmont, C.M., GLMs, GAMs and GLMMs: an overview of theory for applications in fisheries research, *Fish. Res.*, 2004, vol. 70, no. 2–3, pp. 319–337. doi 10.1016/j.fishres.2004.08.011

Winker, H., Carvalho, F., and Kapur, M., JABBA: Just Another Bayesian Biomass Assessment, *Fish. Res.*, 2018, vol. 204, pp. 275–288. doi 10.1016/j.fishres.2018.03.010

Wood, S.N., *Generalized Additive Models: An Introduction with R*, New York: Chapman and Hall/CRC, 2017, second edition. doi 10.1201/9781315370279

Wood, S.N., Thin plate regression splines, *J. R. Statist. Soc. B (Statistical Methodology)*, 2003, vol. 65, no. 1, pp. 95–114. doi 10.1111/1467-9868.00374

Yao, Y., Vehtari, A., Simpson, D., and Gelman, A., Using Stacking to Average Bayesian Predictive Distributions (with Discussion), *Bayesian Anal.*, 2018, vol. 13, no. 3, pp. 917–1007. doi 10.1214/17-BA1091

Zhang, Z. and Moore, J.C., Empirical Orthogonal Functions, in *Mathematical and Physical Fundamentals of Climate Change*, Boston: Elsevier, 2015, pp. 161–197.

Zuur, A.F., Ieno, E.N., Walker, N.J., Saveliev, A., and Smith, G.M., *Mixed effects models and extensions in ecology with R*, New York: Springer Verlag, 2009.

R Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2024, version 4.4.1. <https://www.R-project.org/>. Cited June 30, 2024.

GEBCO Bathymetric Compilation Group 2023. The GEBCO_2023 Grid — a continuous terrain model of the global oceans and land, NERC EDS British Oceanographic Data Centre NOC, UK. <https://doi.org/10.5285/f98b053b-0cbc-6c23-e053-6c86abc0af7b>. Cited June 05, 2023.

Svidetel'stvo № 6394 ot 01.08.2000 g. o registratsii v Gosudarstvennom registre bazy dannykh za № 0220006765 «Morskaja biologija» (Certificate No. 6394 dated August 1, 2000 on registration in the State Register of the database No. 0220006765 “Marine biology”).

Поступила в редакцию 10.07.2024 г.

После доработки 18.07.2024 г.

Принята к публикации 13.09.2024 г.

The article was submitted 10.07.2024; approved after reviewing 18.07.2024; accepted for publication 13.09.2024